

**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**“ESTUDIO TÉCNICO – ECONÓMICO DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A BASE DE BIOGÁS.”**

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO

**AUTORES:**

EDDISON JOSELITO LALVAY GUAMÁN

JUAN PABLO VIDAL JARAMILLO

**DIRECTOR:**

ING. JUAN LEONARDO ESPINOZA

**CUENCA-ECUADOR**

**2013**

## RESUMEN

El relleno sanitario, Minas de Huascachaca del cantón Santa Isabel, provincia del Azuay, operativo desde 2008, tiene implementado un sistema de captación del biogás para quemarlo y evitar sus emisiones directas al aire. El objetivo del presente proyecto es presentar una alternativa a la quema directa del biogás y aprovechar sus características inflamables a fin de producir energía eléctrica mediante el uso de un motor de combustión interna y su propio generador.

Actualmente al relleno sanitario llegan en promedio 20 ton/día de desechos, lo que quiere decir que al año se tendrá 7300 toneladas, con un incremento estimado de 20% anual. Con esta cantidad de desechos se obtiene 40m<sup>3</sup>/h de biogás. Teniendo en cuenta que 1m<sup>3</sup> de Biogás producido en el relleno contiene aproximadamente 50% de metano (CH<sub>4</sub>), cuyo valor calorífico es 10Kwh/m<sup>3</sup>, se pretende arrancar la producción de electricidad en el año 2014 empleando un generador de 60kw de potencia, en el 2017 se incrementará un generador de 194kW, para dar una potencia instalada total de 254kW, luego en el 2020 llegaría a 448kW y finalmente en el 2023 a 642kW. Cantidad que se la entregaría a la red eléctrica local y así, parte de los desechos se transformarían en energía limpia.

Adicionalmente, la captación del biogás disminuirá de una manera considerable la contaminación y malos olores de la zona, así como también reducirá el potencial de efecto invernadero que tiene el metano cuando es inyectado directamente a la atmósfera.

**Palabras claves:** Generación Eléctrica, Biogás, Biocombustible, Biomasa, Análisis económico, Impactos Ambientales.

## ABSTRACT

The landfill, Huascachaca Mines Santa Isabel Canton, Azuay Province, operating since 2008, has implemented a system for burning biogas capture and avoid direct emissions to air. The objective of this project is to present an alternative to the direct burning of biogas and use their flammable characteristics to produce electricity through the use of internal combustion engine and its own generator.

Currently the average landfill reach 20 ton / day of waste, which means that the year 7300 will have tons, with an estimated increase of 20% annually. With this amount of waste is obtained 40m<sup>3</sup> / h of biogas. Given that 1m<sup>3</sup> of biogas produced at the landfill contains approximately 50% methane (CH<sub>4</sub>), which is 10Kwh/m<sup>3</sup> calorific value, is to start producing electricity in 2014 using a 60kw generator power in the 2017 will increase 194kW generator, to give a total installed capacity of 254kW, then in 2020 and finally reach 448kW to 642kW in 2023. Amount to deliver to the local power grid and thus, part of the waste is transformed into clean energy.

Additionally, biogas capture a significantly decrease pollution and odors in the area, as well as reduce the potential greenhouse has methane when injected directly into the atmosphere.

**Keywords:** Electricity Generation, Biogas, Biofuel, Biomass, Economic Analysis, Environmental Impacts.

## INDICE

<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>11</b>
--------------------------------	-----------

<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>13</b>
-------------------------------	-----------

### **CAPÍTULO 1**

#### **INTRODUCCIÓN**

<b>1.1. ANTECEDENTES .....</b>	<b>23</b>
<b>1.2. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>24</b>
<b>1.3. OBJETIVOS .....</b>	<b>25</b>
1.3.1. Objetivo general.....	25
1.3.2. Objetivos específicos.....	25
<b>1.4. ALCANCE .....</b>	<b>26</b>
<b>1.5. METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>

### **CAPÍTULO 2**

#### **INTRODUCCIÓN A LOS TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES Y SU ESTADO ACTUAL EN EL ECUADOR**

<b>2.1 GENERALIDADES.....</b>	<b>28</b>
<b>2.2 PROBLEMAS ENERGÉTICOS A NIVEL MUNDIAL.....</b>	<b>28</b>
<b>2.3 TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES.....</b>	<b>34</b>
2.3.1 Energía Eólica.....	34
2.3.2 Energía Geotérmica.....	35
2.3.3 Energía Marina .....	36
2.3.3.1 Clasificación de la energía marina .....	36
2.3.4 Energía Hidráulica .....	37
2.3.4.1 Mini centrales hidroeléctricas flotantes de aprovechamiento cinético.....	37
2.3.5 Energía Solar .....	38
2.3.6 Energía de la Biomasa .....	39
2.3.7 Energía del Hidrógeno.....	41

2.3.8	Sistemas Híbridos.....	42
<b>2.4</b>	<b>SITUACIÓN ACTUAL DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA ECUATORIANA. ....</b>	<b>43</b>
2.4.1	Datos principales de la generación y pérdidas de energía eléctrica. ....	43
2.4.2	Tipos de energías utilizadas en el Ecuador. ....	44
2.4.3	Estructura del sector eléctrico ecuatoriano. ....	47
2.4.4	Proyectos de eficiencia energética y energía renovable en el Ecuador promovidos por el MEER.....	51
2.4.4.1	Proyectos en ejecución.....	51
2.4.4.2	Proyectos en planificación.....	52
2.4.5	Certificados de Reducción de Emisiones en MDL.....	53
<b>2.5</b>	<b>ENERGÍAS RENOVABLES IMPLEMENTADAS EN EL ECUADOR. ....</b>	<b>54</b>
2.5.1	Generación renovable existente.....	54
2.5.2	Proyectos en marcha.....	54
<b>2.6</b>	<b>INCENTIVOS PARA LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL ECUADOR. ....</b>	<b>58</b>
2.6.1	Políticas de incentivo a las Energías Renovables en Ecuador .....	58
2.6.2	Vigencia de los precios.....	60
2.6.3	Evolución de las Energías Renovables en Ecuador .....	61
<b>2.7</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>64</b>

### ***CAPÍTULO 3***

#### ***LA BIOENERGIA***

<b>3.1</b>	<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>66</b>
<b>3.2</b>	<b>LA BIOMASA. ....</b>	<b>67</b>
3.2.1	Clasificación de la biomasa .....	67
3.2.2	Biocombustibles obtenidos de la biomasa.....	69
3.2.2.1	Clasificación de los biocombustibles.....	69
3.2.3	Valor energético de la biomasa .....	71
3.2.4	Aplicaciones de la biomasa .....	72
<b>3.3</b>	<b>EXPERIENCIA INTERNACIONAL. ....</b>	<b>74</b>
3.3.1	Situación de la biomasa a nivel mundial. ....	74

3.3.2	Producción y uso de los principales biocombustibles generados por la biomasa a nivel mundial. ....	76
3.3.2.1	Biodiesel y Bioetanol. ....	77
3.3.2.2	Producción mundial de biogás ..... ..	78
3.3.2.3	Biogás de Residuos Sólidos Urbanos ..... ..	79
3.3.2.4	Biomasa para usos térmicos y eléctricos. ....	80
3.3.3	Biomasa de Residuos Sólidos Urbanos ..... ..	82
3.3.3.1	Composición de los Residuos Sólidos Urbanos ..... ..	82
3.3.3.2	Líquidos y gases generados por los rellenos sanitarios. ....	85
3.3.3.3	Energía a partir de R.S.U o W.T.E. ....	86
<b>3.4</b>	<b>EL BIOGÁS, FORMACION, COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES. ....</b>	<b>87</b>
3.4.1	Formación ..... ..	87
3.4.2	Composición. ....	88
3.4.3	Propiedades:.....	89
<b>3.5</b>	<b>EXPERIENCIA CON BIOMASA EN EL ECUADOR.....</b>	<b>89</b>
3.5.1	Industrias que utilizan la biomasa para generar y aportar energía eléctrica al S.N.I. ....	91
3.5.2	Proyectos de biomasa en Ecuador ..... ..	91
<b>3.6</b>	<b>EXPERIENCIA EN LA PROVINCIA DEL AZUAY ..... ..</b>	<b>96</b>
3.6.1	Relleno sanitario de Pichacay ..... ..	96
3.6.1.1	Ingreso de desechos. ....	99
3.6.1.2	Gas.....	100
3.6.1.3	Generación de energía eléctrica ..... ..	101
<b>3.7</b>	<b>REFERENCIAS:.....</b>	<b>104</b>

## ***CAPÍTULO 4***

### ***FUENTE DE BIOMASA A UTILIZAR***

<b>4.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>106</b>
<b>4.2</b>	<b>INFORMACIÓN GENERAL ..... ..</b>	<b>106</b>
4.2.1	Creación de la Empresa EMMAICJ-EP.....	107
4.2.2	Ubicación y acceso al relleno ..... ..	108
4.2.2.1	Ubicación del relleno sanitario.....	108
4.2.2.2	Superficie total del terreno.....	109

4.2.2.3	Características del sitio del proyecto.....	110
4.2.2.4	Vías de acceso .....	111
4.2.3	Datos climáticos.....	112
4.2.3.1	Temperatura estación base.....	112
4.2.3.2	Temperatura área de estudio .....	113
4.2.3.3	Precipitaciones.....	113
4.2.3.4	Humedad atmosférica.....	114
4.2.3.5	Vientos. ....	114
4.2.3.6	Nubosidad.....	115
4.2.3.7	Evaporación. ....	115
<b>4.3</b>	<b>INFRAESTRUCTURA.....</b>	<b>115</b>
4.3.1	Centro de Clasificación de material inorgánico.....	115
4.3.2	Centro de Compostaje o elaboración de abono .....	116
4.3.3	Relleno Sanitario.....	117
4.3.4	Ducto de gases .....	119
4.3.5	Celda de Seguridad para los residuos tóxicos y peligrosos. ....	121
4.3.6	Depósito para lixiviados provenientes del Relleno sanitario. ....	121
4.3.7	Bodega de herramientas .....	122
4.3.8	Cerramiento perimetral.....	122
<b>4.4</b>	<b>OPERACIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA BASURA DEL RELLENO SANITARIO</b>	<b>123</b>
4.4.1	Operación.....	123
4.4.1.1	Personal que trabaja en el C.G.R.S .....	125
4.4.1.2	Maquinaria. ....	125
4.4.2	Composición de la basura del relleno sanitario. ....	126
4.4.2.1	Características de la basura de Santa Isabel y Girón. ....	126
4.4.2.2	Cantidad de R.S.U que arriban al Relleno Sanitario de Minas de Huascachaca. ....	127
<b>4.5</b>	<b>PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS.....</b>	<b>129</b>
4.5.1	Datos principales para estimar la generación y recuperación del biogás en el sitio. ....	130
4.5.2	Entrada de datos.....	136
4.5.3	Resultados de la proyección de generación de biogás .....	138
4.5.4	Resultados de la proyección de generación de biogás en forma gráfica.....	139

4.5.5 Posibles usos del biogás analizado .....	140
<b>4.6 REFERENCIAS: .....</b>	<b>141</b>

## ***CAPITULO 5***

### ***ANÁLISIS TÉCNICO***

<b>5.1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>142</b>
<b>5.2 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....</b>	<b>142</b>
5.2.1 Tecnologías disponibles .....	142
5.2.1.1 Turbinas a gas .....	143
5.2.1.2 Motores de combustión interna .....	144
5.2.1.3 Celdas de combustible (Fuel Cells).....	146
5.2.2 Potencia eléctrica proyectada para la generación .....	147
<b>5.3 CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE LA CENTRAL .....</b>	<b>151</b>
5.3.1 Potencia instalada. ....	152
5.3.2 Factor de planta.....	154
5.3.3 Potencia firme .....	155
5.3.4 Producción energética media anual.....	157
5.3.5 Características técnicas del generador .....	158
<b>5.4 UBICACIÓN ESTRATÉGICA DE LA CENTRAL.....</b>	<b>159</b>
<b>5.5 CONEXIÓN A LA RED.....</b>	<b>159</b>
<b>5.6 ESQUEMA TÉCNICO DE UNA CENTRAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN UN RELLENO SANITARIO .....</b>	<b>161</b>
<b>5.7 REFERENCIAS: .....</b>	<b>163</b>

## ***CAPÍTULO 6***

### ***ANÁLISIS ECONÓMICO***

<b>6.1 FLUJO DE CAJA .....</b>	<b>165</b>
6.1.1 Costos del proyecto .....	166
6.1.1.1 Costos de inversión .....	166
6.1.1.2 Costos por operación y mantenimiento.....	168
6.1.2 Ingresos .....	169



6.1.2.1	Venta de energía .....	169
6.1.2.2	Vigencia de los precios.....	170
6.1.2.3	Venta de bonos de carbono (CERS).....	171
6.1.2.2.1	Protocolo de Kioto.....	171
6.1.2.2.2	Ciclo de un proyecto de Bonos de Carbono .....	172
6.1.1.2.3	Historial de los precios de los Bonos de Carbono .....	173
6.1.2.2.4	Venta de certificados de reducción de emisiones.....	174
<b>6.2</b>	<b>RENTABILIDAD ECONOMICA .....</b>	<b>176</b>
6.2.1	Valor Actual Neto (VAN).....	176
6.2.2	Tasa Interna de Retorno (TIR) .....	177
6.2.3	Periodo de Recuperación del Capital Descontado (PRCD) .....	178
<b>6.3</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>180</b>
<b>6.4</b>	<b>REFERENCIAS: .....</b>	<b>181</b>

## ***CAPÍTULO 7***

### ***ASPECTOS AMBIENTALES Y SOCIALES***

<b>7.1. ACTIVIDADES PROPIAS DEL PROYECTO.....</b>	<b>184</b>
<b>7.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.....</b>	<b>184</b>
<b>7.3. IMPACTOS AMBIENTALES SOBRE EL MEDIO FÍSICO. ....</b>	<b>185</b>
7.3.1. Impactos ambientales en los suelos. ....	185
7.3.2. Impactos ambientales en los recursos hídricos.....	186
7.3.3. Impactos en la calidad del aire.....	187
7.3.3.1. Calidad del aire.....	187
7.3.3.2. Ruido.....	188
7.3.3.3. Olores .....	188
7.3.3.4. Gases.....	188
<b>7.4. IMPACTOS SOBRE EL MEDIO BIOLÓGICO .....</b>	<b>188</b>
7.4.1. Impactos ambientales potenciales en la flora. ....	188
7.4.2. Impactos potenciales en la calidad del paisaje.....	191
7.4.3. Impactos ambientales en la fauna. ....	191
<b>7. 5. IMPACTOS SOBRE EL MEDIO SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL .....</b>	<b>193</b>
7.5.1. Empleo.....	194



7.5.2. Seguridad Laboral .....	194
7.5.3. Nuevas Actividades .....	194
7.5.4. Concientización .....	195
7.5.5. Sitio de Interés Cultural .....	195
<b>7.6. EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES .....</b>	<b>195</b>
<b>7.7. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL (PMA) .....</b>	<b>197</b>
<b>7.8 REFERENCIAS: .....</b>	<b>200</b>

## ***CAPÍTULO 8***

### ***CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES***

<b>8.1 CONCLUSIONES:.....</b>	<b>201</b>
<b>8.2 RECOMENDACIONES: .....</b>	<b>202</b>
<b><i>BIBLIOGRAFÍA .....</i></b>	<b><i>204</i></b>
<b><i>ANEXOS.....</i></b>	<b><i>205</i></b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>206</b>
<b>Flujo de caja realizado para el relleno Sanitario de Minas de Huascachaca .....</b>	<b>206</b>
<b>Anexo B.....</b>	<b>207</b>
<b>Matriz compuesta para el PRCD (ingresos de residuos vs apoyo financiero) .....</b>	<b>207</b>
<b>Anexo C.....</b>	<b>208</b>
<b>Precios preferentes para la venta de energía en las centrales de generación. ....</b>	<b>208</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Distribución de la demanda mundial de energía, 1990 – 2010 (millones de toneladas de petróleo equivalente) .....	30
Figura 2. 2 Tasa de crecimiento de la capacidad global de producción de energía renovable 2006-2011 (%) .....	31
Figura 2. 3 Distribución del consumo mundial de energía renovable, 2011. ....	32
Figura 2. 4 Evolución de la capacidad instalada de fuentes de energía renovables, 2001-2011. (MW) .....	33
Figura 2. 5 Energía Primaria del Año 2011 .....	34
Figura 2. 6 Potencia eléctrica (energía renovable y no renovable) instalada en Ecuador. ....	44
Figura 2. 7 Producción de energía por tipo de central .....	45
Figura 2. 8 Demanda anual de energía eléctrica en el Ecuador por grupo de consumo (GWh).....	47
Figura 2. 9 Evolución de energías renovables en el Ecuador .....	61
Figura 2. 10 Evolución de energías renovables en el Ecuador, sin considerar la energía hidráulica.....	62
Figura 2. 11 Parque eólico Loja .....	64
Figura 3. 1 Clasificación de la biomasa por su origen .....	68
Figura 3. 2 Aplicaciones de la biomasa .....	73
Figura 3. 3 Biomasa a nivel mundial .....	75
Figura 3. 4 Consumo de energía eléctrica en el mundo (TWh).....	76
Figura 3. 5 Energías renovables a nivel mundial, 2008.....	77
Figura 3. 6 Uso de la biomasa a nivel Europeo .....	81
Figura 3. 7 Residuos sólidos urbanos generados por el hombre .....	83
Figura 3. 8 Composición física promedio de los RSU de la ciudad autónoma de Buenos Aires-Argentina .....	84
Figura 3. 9 Valor promedio de los RSU de España .....	85
Figura 3. 10 Planificación de incremento de la capacidad instalada de la matriz eléctrica de Ecuador.....	90
Figura 3. 11 Producción de aceite de piñón para plan piloto de generación eléctrica en Galápagos.....	94
Figura 3. 12 Biogás en el relleno sanitario de Pichacay.....	96
Figura 3. 13 Relleno Sanitario de Pichacay .....	98
Figura 3. 14 Diariamente en el relleno de Pichacay se da tratamiento a unas 400 toneladas de desechos.....	100
Figura 3. 15 En el relleno sanitario de Pichacay. El empleado Luis Zhingre revisa uno de los tubos de la salida del gas .....	101
Figura 3. 16 Proceso de aprovechamiento de del biogás de relleno .....	104
Figura 4. 1 Mapa del sitio .....	109
Figura 4. 2 Centro de Gestión de Residuos Sólidos “Minas de Huaschachaca” .....	110

Figura 4. 3	Mapa base del área de estudio y su alcance. ....	111
Figura 4. 4	Entrada al centro de Gestión de Residuos Sólidos .....	112
Figura 4. 5	Precipitación mensual del área en estudio .....	114
Figura 4. 6	Centro de gestión de residuos sólidos.....	116
Figura 4. 7	Centro de Compostaje .....	117
Figura 4. 8	Relleno Sanitario de Minas de Huascachaca.....	118
Figura 4. 9	Ducto de salida de biogás.....	120
Figura 4. 10	Ducto de salida de biogás.....	120
Figura 4. 11	Celda de seguridad para los residuos tóxicos y peligrosos. ....	121
Figura 4. 12	Bodega de herramientas.....	122
Figura 4. 13	Organigrama de la EMMAICJ-EP .....	124
Figura 4. 14	Maquinaria utilizada para cubrir y tender la basura .....	126
Figura 4. 15	Mapa de la provincia del Azuay .....	128
Figura 4. 16	Entrada de datos para el cálculo de biogás .....	137
Figura 4. 17	Proyección de generación y recuperación de biogás .....	140
Figura 5. 1	Estructura interna de una turbina a gas.....	144
Figura 5. 2	Motor de combustión interna .....	145
Figura 5. 3	Pila o celda de combustible .....	147
Figura 5. 4	Eficiencia Global del sistema de generación (ciclo simple) .....	151
Figura 5. 5	Potencial Energético .....	154
Figura 5. 6	Centro de Gestión de Residuos Sólidos.....	159
Figura 5. 7	Esquema tecnológico de un relleno sanitario.....	161
Figura 6. 1	Funcionamiento del Mercado: Operación de una Transacción de CERs.....	173
Figura 7. 1	Mapa de cobertura vegetal. ....	189

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Principales indicadores de generación en el Ecuador.....	43
Tabla 2.2 Potencia instalada por tipo de energías y tipo de central.....	44
Tabla 2.3 Producción de energía eléctrica a nivel nacional por tipo de fuente energética en el año 2012. ....	45
Tabla 2.4 Demanda anual de energía eléctrica a nivel nacional por grupos de consumo (GWh).....	46
Tabla 2.5 Empresas Eléctricas y la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL) conformada por diez Gerencias Regionales. ....	49
Tabla 2.6 Centrales recién incorporadas y proyectos en marcha. ....	54
Tabla 2.7 Proyectos fotovoltaicos en el Ecuador en estudio.....	56
Tabla 2.8 Proyectos geotérmicos en estudio en Ecuador .....	57
Tabla 2.9 Precios Preferentes Energía Renovables en (cUSD/kWh) .....	59
Tabla 2.10 Precios preferentes centrales hidroeléctricas hasta 50MW en (cUSD/kWh) ..	59
Tabla 3.1 Tipos de biocombustibles de la biomasa .....	71
Tabla 3.2 Poder calorífico de los componentes de la Biomasa.....	71
Tabla 3.3 Principales países productores de Biodiesel y Etanol.....	78
Tabla 3.4 Proyección de producción de biogás a nivel mundial hasta el 2020 .....	80
Tabla 3.5 Emisiones de distintas fuentes de combustibles (en Kg/ MWh) .....	86
Tabla 3.6 Plantas generadoras de energía en el año 2007 con R.S.U.....	87
Tabla 3.7 Componentes del biogás en función del sustrato utilizado .....	88
Tabla 3.8 Producción de energía eléctrica con biomasa.....	91
Tabla 3.9 Ingreso de Desecho 2001-2006 (Actual) y 2007 a 2021 (Proyección) .....	99
Tabla 3.10 Proyección de la capacidad de generación .....	103
Tabla 4.1 Caracterización de la basura .....	127
Tabla 4.2 Cantones socios y clientes del C.G.R.S .....	128
Tabla 4.3 Tabla de revisión para determinar los valores de k y Lo .....	132
Tabla 4.4 Valores determinados para el cálculo de generación de biogás en el sitio de estudio.....	132
Tabla 4.5 Eficiencia de captación de Biogás. ....	133
Tabla 4.6 Toneladas año dispuestas desde el 2008 hasta el 2023 .....	135
Tabla 4.7 Proyección de generación y recuperación de biogás, para el relleno sanitario de Minas de Huasachaca – Santa Isabel – Azuay.....	138
Tabla 5.1 Características principales de micro turbinas a gas cuando operan en ciclo simple.....	143
Tabla 5.2 Características principales de los motores de combustión interna cuando operan en ciclo simple. ....	145
Tabla 5.3 Características principales de las Celdas de Combustible .....	147
Tabla 5.4 Matriz de decisión.....	149

Tabla 5. 5	Generación de energía eléctrica .....	150
Tabla 5. 6	Potencia instalada para los próximos 20 años .....	153
Tabla 5. 7	Factor de planta de las centrales de Energías Renovables .....	155
Tabla 5. 8	Potencia firme de las centrales de Energías Renovables .....	156
Tabla 5. 9	Producción de energía eléctrica media anual.....	157
Tabla 5. 10	Características técnicas del motor y el generador de energía .....	158
Tabla 6. 1	Costos referenciales en USD por kW instalado. ....	166
Tabla 6. 2	Costos de inversión inicial y futuro del proyecto .....	167
Tabla 6. 3	Costos por operación y mantenimiento .....	169
Tabla 6. 4	Ingresos por venta de energía .....	170
Tabla 6. 5	Precios históricos de los CERs para el periodo 2008-2013 .....	174
Tabla 6. 6	Ingreso por venta de bonos de carbono (CERs) .....	175
Tabla 6. 7	Resultados finales del estudio del proyecto .....	180
Tabla 7. 1	Información florística más relevante del sector .....	190
Tabla 7. 2	Estado de conservación de mamíferos registrados en la cuenca baja del río Jubones.....	192
Tabla 7. 3	Especies de avifauna identificada para las zonas de estudio .....	193
Tabla 7. 4	Componentes ambientales. Impactos relevantes.....	195
Tabla 7. 5	Valor de la importancia.....	196
Tabla 7. 6	Matriz de impactos para la generación eléctrica con Biogás. ....	196




## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

**CERTIFICO QUE EL PRESENTE TRABAJO HA SIDO DESARROLLADO BAJO  
MI DIRECCION POR LOS SEÑORES:**

**EDDISON JOSELITO LALVAY GUAMÁN**

**JUAN PABLO VIDAL JARAMILLO**



**ING JUAN LEONARDO ESPINOZA ABAD**  
**DIRECTOR DE TESIS**

---

*Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999*

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail [cdjbv@ucuenca.edu.ec](mailto:cdjbv@ucuenca.edu.ec) casilla No. 1103





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Eddison Joselito Lalvay Guamán, autor de la tesis “Estudio técnico – económico de una planta de generación eléctrica a base de biogás”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Eléctrico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 1 de octubre del 2013



Eddison Joselito Lalvay Guamán

C.I.: 0301977120

*Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999*

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail [cdjbv@ucuenca.edu.ec](mailto:cdjbv@ucuenca.edu.ec) casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Juan Pablo Vidal Jaramillo, autor de la tesis "Estudio técnico – económico de una planta de generación eléctrica a base de biogás", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Eléctrico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 1 de octubre del 2013



Juan Pablo Vidal Jaramillo

C.I.:1104310253

*Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999*

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316  
e-mail [cdjbv@ucuenca.edu.ec](mailto:cdjbv@ucuenca.edu.ec) casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
Fundada en 1867

Yo, Eddison Joselito Lalvay Guamán, autor de la tesis "Estudio técnico – económico de una planta de generación eléctrica a base de biogás", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 1 de octubre del 2013



Eddison Joselito Lalvay Guamán  
C.I.: 0301977120

---

*Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999*  
Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316  
e-mail [cdjbv@ucuenca.edu.ec](mailto:cdjbv@ucuenca.edu.ec) casilla No. 1103  
Cuenca - Ecuador



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Juan Pablo Vidal Jaramillo, autor de la tesis “Estudio técnico – económico de una planta de generación eléctrica a base de biogás”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 1 de octubre del 2013

Juan Pablo Vidal Jaramillo

C.I.:1104310253

*Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999*

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail [cdjbv@ucuenca.edu.ec](mailto:cdjbv@ucuenca.edu.ec) casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a nuestro Director, Ing. Juan Leonardo Espinoza, por su dedicación y orientación fundamentales para el desarrollo y conclusión del presente trabajo. Al personal que labora en el relleno sanitario de Minas de Huascachaca y todos los funcionarios de la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral de la Cuenca del Jubones (EMMAICJ) que nos colaboraron en nuestras investigaciones, en cada una de las etapas del proceso de la tesis. Y a nuestras familias por su apoyo incondicional.

Los Autores

## DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a:

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mis padres, Julio Olmedo Lalvay Lalvay (R.I.P, yo sé que usted me está viendo y apoyando desde el cielo) y María Herlinda Guamán Merchán, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Mis hermanos, Ninfa Maribel, Nancy del Pilar, Nube Marisol, Fanny Elisabeth, Melida Johana, Lourdes Belén, Ítalo Genaro y Lady Diana, por estar conmigo y apoyarme siempre.

Mi esposa e hija, que me supieron brindar su amor y cariño para salir en adelante, los quiero mucho.

Todos aquellos familiares y amigos que me supieron apoyar de una u otra manera.

Eddison Joselito Lalvay Guamán



## DEDICATORIA

Este trabajo de tesis quiero dedicar a mis padres, Adelaida y Salomón por su cariño y ayuda, a mis hermanos Carmen, María, Rocío, Mariana, Oswaldo, Alonzo y Norman por su apoyo incondicional en cada una de las etapas de mi vida y a mi hijo Pablo Andrés por todo el amor brindado.

Juan Pablo Vidal Jaramillo.

## CAPÍTULO 1

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1. ANTECEDENTES

Permanentemente, a nivel mundial, se presentan avances y desarrollos en la industria, la tecnología y la evolución de los estilos de vida de la población, dentro de lo cual la energía eléctrica juega un papel relevante debido a su importancia fundamental como insumo principal para todas las actividades productivas y para satisfacer las necesidades básicas de la población. Por esta razón, alrededor de todo el mundo se construyen continuamente centrales eléctricas de distintos tipos, para poder satisfacer el incremento de la demanda. Como una característica especial se observa que, actualmente, los países desarrollados están apuntando a la generación distribuida, la misma que consiste en generar en pequeña escala, para luego conectarse a la red de distribución eléctrica y cuya principal característica es la de generar cerca de los puntos de consumo. Ello permitirá asegurar al mundo y porque no al Ecuador un suministro de energía confiable, de calidad, a bajo costo y ambientalmente sustentable.

Hoy en día en Ecuador, se está promoviendo el desarrollo de energías limpias y amigables con el medio ambiente. Uno de los objetivos de usar este tipo de energía, es disminuir las cantidades de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) que son expulsadas hacia la atmósfera, el cual, es uno de los gases de efecto invernadero que contribuye a que la Tierra tenga un calentamiento acelerado. Así, se vienen impulsando en el país proyectos hidroeléctricos, eólicos, fotovoltaicos, etc.

Como claro ejemplo, tenemos que el cantón Cuenca será el primero en el país en usar sus residuos para generar electricidad, gracias a la creación de la Empresa de Economía Mixta EMAC EP –BGP Energy, para la captación del biogás en el

relleno sanitario de Pichacay (parroquia de Santa Ana), con el objetivo de convertirlo en energía eléctrica, lo cual tiene el respaldo del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

En la misma provincia del Azuay, con el propósito de resolver los problemas ambientales y sociales derivados del mal manejo de los desechos sólidos, en los cantones Girón y Santa Isabel, se constituye la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral de la Cuenca del Jubones (EMMAICJ). El proyecto tiene como finalidad promover el desarrollo sustentable de la zona, a través de la gestión integral de los residuos sólidos en los dos cantones. Los desechos orgánicos y residuos inorgánicos son recolectados y luego transportados al Centro de Gestión en Minas de Huasachaca (cantón Sta. Isabel), en donde se les da un tratamiento adecuado. Actualmente en el relleno ingresan aproximadamente 20 toneladas/ día de desechos, de los cuales el 60% son orgánicos y el 40% inorgánicos.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Debido a que la matriz energética del mundo y del país depende, en gran parte, de los combustibles fósiles, el Ecuador se ha convertido en un país económica y ambientalmente vulnerable, ya que varias de las fuentes que producen energía eléctrica no pueden regenerarse (derivados de petróleo y gas natural). La otra importante fuente de energía es la hidroelectricidad, con priorización de grandes proyectos. Por otro lado, en las últimas décadas se ha originado un incremento en la demanda de energía para el transporte, la vivienda y la industria siendo necesario construir más centrales de generación que no afecten al medio ambiente y no lleven mucho tiempo en construirlas. Aparte del incremento en la demanda y de contar en el Sistema Nacional Interconectado del Ecuador básicamente con dos fuentes para la producción de electricidad, no es muy recomendable transportar energía eléctrica a grandes distancias ya que existen pérdidas técnicas que se presentan en la transmisión, transformación y



distribución. Estas pérdidas pueden ser evitadas en su mayoría utilizando centrales de generación distribuida que ayuden al consumo local.

Por esta razón se ha visto conveniente realizar el estudio de una central de generación eléctrica con biogás, ya que puede aportar con grandes beneficios económicos, sociales y ambientales. Por ejemplo, pueden ayudar a la generación de energía eléctrica para la zona y el país en épocas de estiaje o cuando el precio del petróleo se encuentre demasiado alto, reducir la contaminación ambiental por el gas metano de los rellenos sanitarios y el CO<sub>2</sub> producido por la quema de combustibles en las centrales térmicas, generar empleo local, etc. Otro beneficio no menos importante es el de aprovechar las ventajas arancelarias, así como exoneraciones del Impuesto a la Renta, otorgadas a la producción energética basada en energía renovable como solar, eólica, geotérmica, biomasa, etc.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Estudiar la factibilidad técnico-económica de instalar una planta de generación eléctrica, que empleará como combustible, el gas metano producido por el relleno sanitario de Minas de Huasachaca, el mismo que se encuentra ubicado a 84 Km, al sureste de la ciudad de Cuenca, en el cantón Santa Isabel, provincia del Azuay

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Estudiar la biomasa (bioenergía), en especial el biogás, como fuente de energía, de tal forma que se pueda obtener una base teórica que

permita analizar las características técnicas de una central de generación eléctrica con biogás.

- Realizar un análisis técnico de una central de generación de energía eléctrica a base de biogás, estableciendo la potencia, la ubicación adecuada y el punto de conexión con el SNI del país.
- Realizar un análisis económico de una central de generación de energía eléctrica en base a biogás, abarcando desde el modelo de negocios hasta un análisis de sensibilidad de las variables que controlan el flujo de caja del proyecto.
- Analizar la experiencia mundial y ecuatoriana, en lo que se refiere a centrales de generación con biogás, de tal forma que nos permita conocer las tecnologías y técnicas aplicadas en el diseño de la central.
- Identificar los aspectos sociales y ambientales de una central con biogás.

#### **1.4. ALCANCE**

El presente estudio está orientado a analizar la fuente de biomasa, existente en el relleno sanitario de Minas de Huascachaca, principalmente la producción de biogás, ya que será el combustible base de la central, que a su vez, nos permitirá establecer el factor de planta y la potencia instalada con la cual aportará la central al SNI. Luego, conjuntamente con los técnicos del relleno, se pretende analizar el terreno para la ubicación adecuada donde se asentará dicha central. Una vez realizado los puntos anteriores se analizarán las características técnicas de la subestación, estableciendo así la barra y la tensión con la cual se conectará al SNI.

Una vez concluido la parte técnica de la central, pasaremos a realizar un análisis económico, utilizando el método de evaluación en el cual se tomara en cuenta el valor del dinero a través del tiempo durante unos 20 años, que es el tiempo

promedio durante el cual el relleno proveerá de gas para la central, en este estudio se incluirá el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de recuperación del capital descontado (PRCD).

En el análisis económico también se tomará en cuenta las variables técnicas como por ejemplo las inversiones en obras físicas, inversiones en equipamiento, costos de producción, costos de mantenimiento, etc. En lo que corresponde a ingresos se pretenderá determinar la venta de energía, venta de los bonos de carbono y todo lo que sea necesario con el fin de poder llegar a determinar la factibilidad y viabilidad del proyecto en estudio.

Finalmente se describirán los aspectos sociales y ambientales de este tipo de central, con una breve evaluación de los mismos.

## **1.5. METODOLOGIA**

Se ha recurrido a una revisión de literatura en artículos académicos, reportes de instituciones, libros y publicaciones de revistas científicas sobre generación a base de biogás. Se ha mantenido contacto directo con el personal técnico del relleno Minas de Huasachaca. También el proyecto se ha apoyado en el aporte de experiencias locales con este tipo de generación, como es el caso del relleno sanitario de Pichacay en el cantón Cuenca, provincia del Azuay.

## **CAPÍTULO 2**

### **INTRODUCCIÓN A LOS TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES Y SU ESTADO ACTUAL EN EL ECUADOR.**

#### **2.1 GENERALIDADES.**

El campo de las energías renovables se ha expandido rápidamente y existe la creciente necesidad de las personas con los conocimientos de los conceptos de ecología, gestión ambiental y afines, que complementen los aspectos técnicos y permitan entender mejor los beneficios que plantean dichos tipos de generación eléctrica y analizar, calcular e implementarlos a futuro como la mejor opción.

Para entender la situación actual de la generación eléctrica en el Ecuador debemos referirnos a los acontecimientos suscitados a nivel nacional y mundial, ya que en el transcurso del tiempo las tecnologías han ido cambiando con el objetivo de optimizar los recursos naturales inagotables que tenemos.

Hoy en día, es obligación de todos buscar alternativas para una generación de electricidad segura, eficiente y limpia, por ese motivo muchos gobiernos nacionales, tanto en Europa como en América, están optando por dar incentivos a los que generan energías no convencionales con fuentes renovables de energía.

#### **2.2 PROBLEMAS ENERGÉTICOS A NIVEL MUNDIAL.**

A lo largo del tiempo, el ser humano ha ido dependiendo cada vez más de los recursos energéticos. Para el hombre moderno, es impensable la vida sin iluminación, calefacción, refrigeración, transporte. Esta dependencia energética, ha llevado en general a un excesivo consumo, específicamente de combustibles fósiles, y sabemos que éstos son recursos no renovables.

Los grandes yacimientos petrolíferos se van agotando y son cada vez más escasos, el último encontrado fue en noviembre del 2012 en México y fue un gran acontecimiento<sup>1</sup>. Para muchos el mundo se encuentra en un periodo de crisis energética, ya que dentro de algunos años, la producción mundial de petróleo convencional empezará a disminuir, mientras tanto, la demanda mundial no deja de aumentar.

El consumo de petróleo se cuantificó en el año 2011 en 91 millones de barriles al día (cada barril contiene 159 litros), constituyendo el 40% del consumo energético total<sup>2</sup>. En lo que va del siglo, se ha observado un incremento anual de consumo de petróleo (y sus derivados) a escala mundial, teniendo que elevar sus valores de previsión, siendo los EEUU el mayor contribuyente, al haber incrementado su uso en un 20% en las últimas cuatro décadas.

Lo que resulta de esta creciente demanda petrolera junto con la disminución de la producción, es un problema inevitable, a causa de la importancia de la dependencia de nuestras economías respecto del petróleo barato. Se presentan como alternativas muchas opciones, desde las energías alternativas o renovables hasta las energías nucleares, algunas de ellas cuentan con alguna viabilidad actualmente.

El petróleo, hoy en día, se encuentra por todas partes, desde los plásticos utilizados en los envases o aparatos eléctricos, hasta los fertilizantes utilizados en la agricultura, al tener a éste como elemento base. Por ejemplo, la inversión energética en la agricultura aumenta notablemente, mientras que los rendimientos de las cosechas no son muy elevados<sup>3</sup>. Por esos motivos debemos comenzar a buscar alternativas energéticas para ponerlas en acción, antes que se agoten los combustibles fósiles.

---

<sup>1</sup> [http://www.bbc.co.uk/mundo/ultimas\\_noticias/2012/11/121125\\_ulnot\\_yacimiento\\_petrolero\\_mexico\\_bd.shtml](http://www.bbc.co.uk/mundo/ultimas_noticias/2012/11/121125_ulnot_yacimiento_petrolero_mexico_bd.shtml)

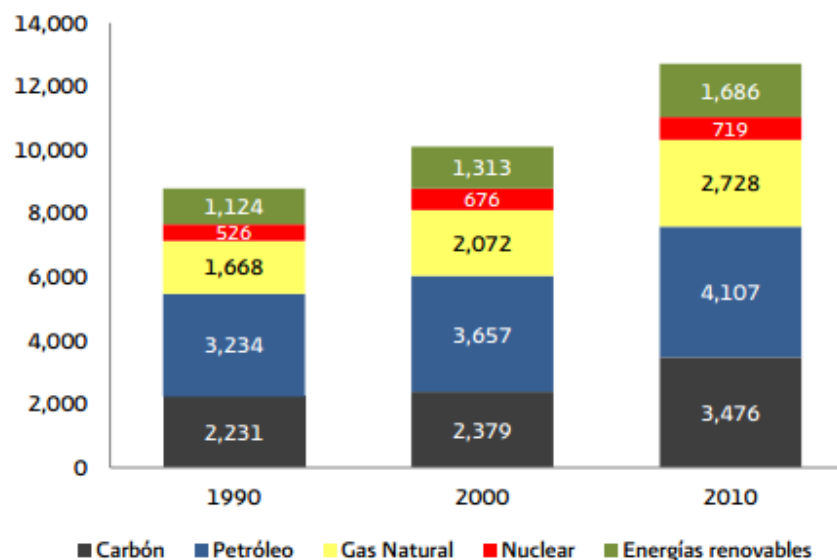
<sup>2</sup> Agencia Internacional de la Energía – AIE, 2011

<sup>3</sup> Tendencias mundiales actuales y perspectivas de los fertilizantes al 2009/10.  
<ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/cwfto09s.pdf>

Las energías renovables proveen una opción de abastecimiento importante, ya que permiten el aprovechamiento de los recursos locales produciendo energía a menores costos ambientales, en comparación con aquellas convencionales, además son recursos capaces de renovarse “ilimitadamente”.

La introducción en el mercado de energías renovables, aún es lenta, por su elevado costo en varias de sus tecnologías. Además estas fuentes, son actualmente un complemento de las energías convencionales, incapaces de sustituirlas completamente y de generar por sí solas toda la energía demandada.

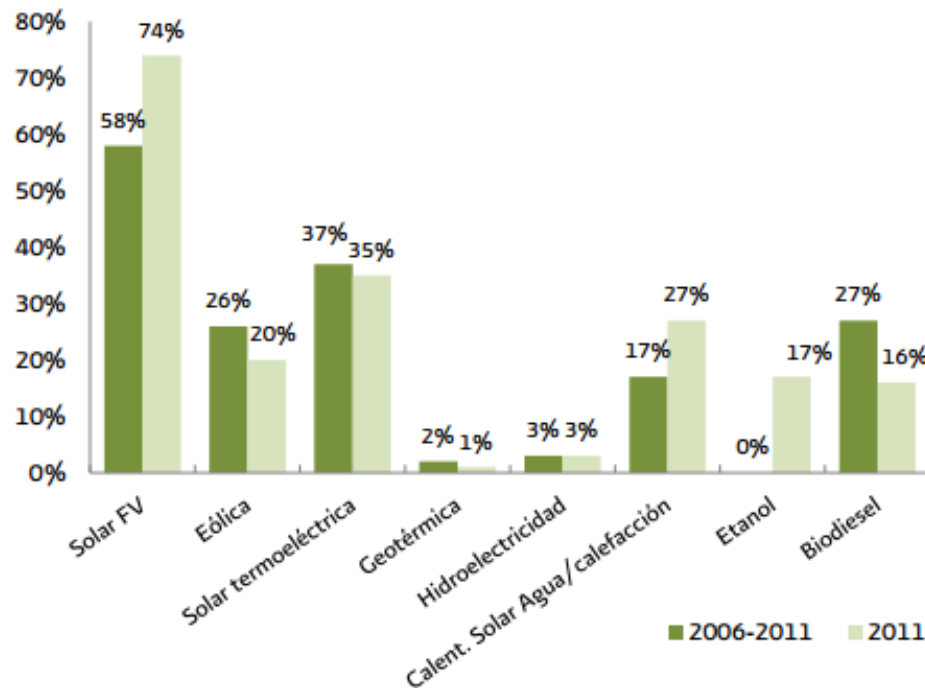
Por otro lado, la generación de los dos principales tipos de energías renovables (eólica e hidroeléctrica), pueden impactar negativamente en el medio ambiente. Por ejemplo, en la eólica se presenta un ruido elevado en el movimiento de las aspas y pueden ocasionar colisiones de ciertas aves; las represas producen inundaciones, aumento de erosión, pérdida de hábitat y deforestación.



**Figura 2. 1** Distribución de la demanda mundial de energía, 1990 – 2010 (millones de toneladas de petróleo equivalente)

**Fuente:** International Energy Agency. 2012. World Energy Balances.

***Participación y evolución de la energía renovable en el consumo mundial de energía primaria.***

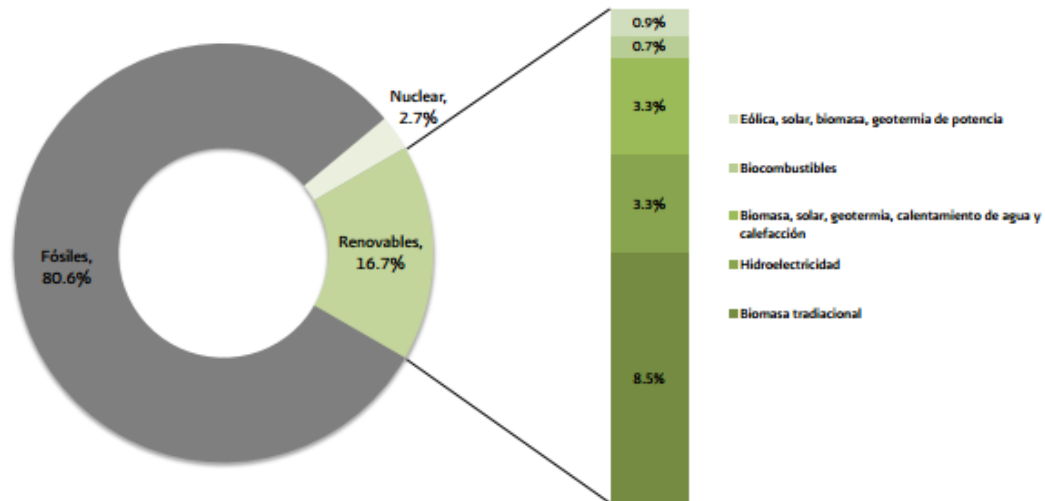


**Figura 2.2** Tasa de crecimiento de la capacidad global de producción de energía renovable 2006-2011 (%)

**Fuente:** Renewables 2012, Global Status Report, REN21, 2012

En 2011, la energía proveniente de fuentes renovables suministró 16.7% del consumo final de Energía<sup>4</sup>, considerándose como fuentes renovables a la biomasa tradicional, a las grandes hidroeléctricas, así como a las llamadas “nuevas” energías renovables, tales como pequeñas centrales hidroeléctricas, bioenergéticos, energía eólica, solar y geotérmica.

4 REN21. 2012. Renewables 2012 Global Status Report.



**Figura 2.3** Distribución del consumo mundial de energía renovable, 2011.

**Fuente:** Renewables 2012, Global Status Report, REN21, 2012

Como se observa en la Figura 2. 3, la biomasa tradicional representó casi el 50% de la energía renovable consumida en el mundo. Entre sus principales usos están la preparación de alimentos y la calefacción. Su demanda ha crecido lentamente, a una tasa media de crecimiento anual de 1.3% durante el periodo 1990-2011, incluso ha disminuido en algunas regiones donde se utiliza de manera más eficiente o ha sido reemplazada por formas más modernas de energía. La biomasa moderna comprende el uso mejorado de la biomasa tradicional, como en las cocinas de gran rendimiento “sin humo”, así como en la generación de electricidad, producción de calor y combustibles líquidos neutros o bajos en emisiones de carbono y las fuentes sostenibles de biomasa.

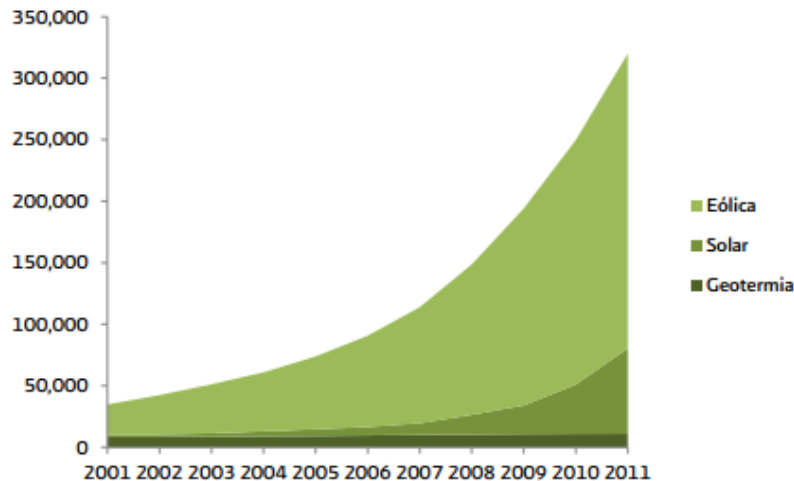
Cabe destacar, que la energía renovable ha sustituido gradualmente a los combustibles convencionales en cinco mercados distintos: la generación de electricidad, calentamiento de agua, calefacción, combustibles para transporte y la provisión de energía en centros rurales alejados de la red energética.

### ***Capacidad instalada de las fuentes de energías renovables en el mundo.***



Las fuentes de energías renovables han incrementado su capacidad instalada en los últimos 9 años (véase Figura 2.4). La energía eólica ha aumentado en poco más de ocho veces su capacidad instalada, mientras que la energía solar fotovoltaica lo ha hecho 38 veces. La geotermia en cambio ha aumentado en poco más de una tercera parte de lo que representaba en 2001.<sup>5</sup>

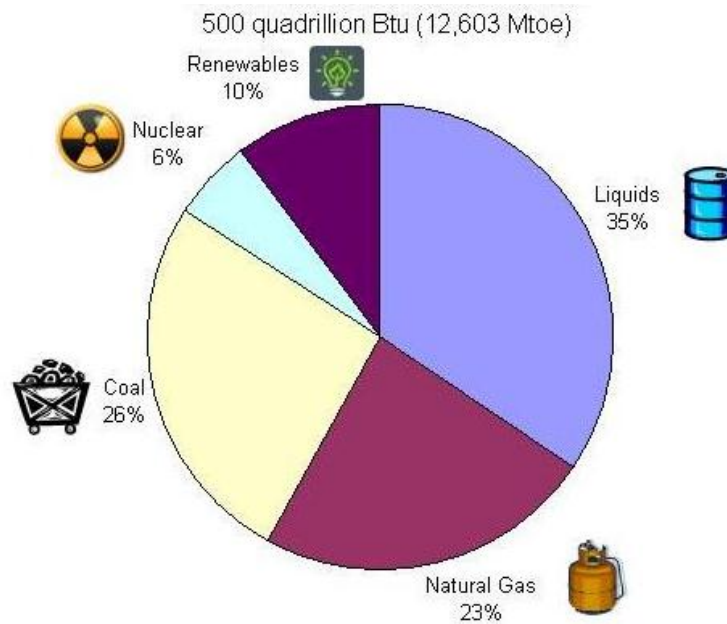
Tomando en cuenta que la base de participación de la energía fotovoltaica es aún muy pequeña, el impacto de este crecimiento ha repuntado en los últimos tres años.



**Figura 2.4** Evolución de la capacidad instalada de fuentes de energía renovables, 2001-2011. (MW)

**Fuente:** BP Statistical Review of World Energy 2012

<sup>5</sup> British Petroleum Statistical Review of World Energy, 2012.



**Figura 2. 5** Energía Primaria del Año 2011

**Fuente:** U.S. Energy Information Administration (Report # DOE/EIA-04849), 2012

## 2.3 TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES. [8]

Las fuentes renovables de energía son inagotables pues se regeneran con su uso y presentan una alternativa para disminuir emisiones de gases tóxicos al ambiente. Entre estas fuentes tenemos:

### 2.3.1 Energía Eólica.

La energía eólica utiliza la energía cinética del viento, convirtiéndola en energía mecánica o eléctrica por medio del principio de transformación de energía. Esta energía puede ser de gran utilidad en regiones aisladas y de difícil acceso y que tienen necesidades de energía eléctrica, y cuyos vientos son apreciables en el transcurso del año. En el Ecuador la energía eólica se encuentra localizada en escasos sitios donde se produce las diferencias térmicas entre los valles de los Andes o de las costas. Es un tipo de energía inagotable y de libre acceso.

### 2.3.2 Energía Geotérmica

El calor de la tierra es una importante fuente de energía, se basa en el hecho de que la Tierra está más caliente cuanto más profundamente se perfora en dirección a su núcleo. Un yacimiento geotérmico aparece cuando las capas rocosas porosas conjuntamente con las capas rocosas impermeables atrapan agua y/o vapor a altas temperaturas. La explotación de un yacimiento geotérmico debe efectuarse de manera tal que el volumen de agua caliente o vapor que de él se extrae, no sea mayor que la recarga natural de agua que alimenta al acuífero. Sólo bajo estas condiciones, el recurso energético puede ser considerado como “renovable”.

El costo de obtener el calor geotérmico es competitivo comparado con otros combustibles, pero debe considerarse como una ventaja la mínima contaminación que asociada a su explotación. Presenta mayor tiempo disponible de trabajo (horas útiles). Una desventaja es el costo que representa las fases de exploración y explotación del recurso geotérmico y el bajo rendimiento que presentan estas centrales.

Desde 2004, el aprovechamiento de esta fuente de energía y la acumulación de capacidad eléctrica se ha registrado, sobre todo, en Indonesia, Islandia, Nueva Zelanda, Estados Unidos y Turquía. Cabe mencionar que Turquía e Islandia experimentaron un crecimiento de más de 200% cada uno. La capacidad mundial aumentó 3% promedio anual durante el periodo 2001-2011. A finales de 2011, se contaba con aproximadamente 11,2 MW de capacidad geotérmica de generación de electricidad, que produjo más de 69 GWh por año<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Renewables 2012 Global Status Report, REN21, 2012.

### 2.3.3 Energía Marina

La energía marina también es conocida como energía de los Mares o de los Océanos. A menudo recibe el nombre de energía Mareomotriz, confundiéndose un aprovechamiento en particular con el nombre general.

#### 2.3.3.1 Clasificación de la energía marina

La energía marina engloba seis tipos distintos de energía:

- *Energía Mareomotriz.* Aprovechamiento de la energía de las mareas.
- *Energía de los gradientes térmicos Oceánicos.* Aprovechamiento del gradiente térmico de los océanos. Se basa en la diferencia térmica que existe entre la superficie y las profundidades del mar.
- *Energía Osmótica.* Aprovechamiento energético del gradiente de salinidad en aguas de diferente concentración salina.
- *Energía de las corrientes Marinas.* Aprovechamiento de la energía de las corrientes marinas.
- *Energía de las Olas.* Aprovechamiento de la fuerza de las olas.

Hay que tener en cuenta que la forma de generación y transmisión del recurso de olas es mucho más estable en el tiempo que el viento. Se trata de un recurso concentrado, predecible y cercano a grandes consumidores. Ofrece alta disponibilidad ya que es un recurso abundante y con flujos de energía elevados.

Dentro de las desventajas que presenta este tipo de energía se puede resaltar: se requiere de una gran resistencia en los materiales, pues la carga que debe soportar el dispositivo en las condiciones más adversas puede ser 100 veces mayor que su carga nominal. Asimismo, aunque las condiciones sean las mejores, los dispositivos tienen que soportar la energía cinética de las olas ininterrumpidamente.

Los dispositivos alejados de la costa tienen un alto costo, debido no sólo al mantenimiento y a la instalación, sino también al amarre, que debe ser revisado y sustituido cada poco tiempo, garantizando que ninguna pieza se pierda y quede a la deriva. La vegetación marina crece en todo lo que se instala en el mar y el efecto corrosivo del agua salada tiene consecuencias muy negativas en distintos materiales. La irregularidad en la amplitud, en la fase y en la dirección de la ola hace difícil que un dispositivo obtenga el máximo rendimiento en todo el intervalo de frecuencias de excitación.

Es complicado acoplar el movimiento lento (0,1 Hz aproximado) e irregular de la ola al generador, que normalmente trabaja a una frecuencia 600 veces mayor. En general la eficiencia de la conversión energética no es alta. Pese a ser una energía limpia produce un impacto ambiental considerable como: variación en el clima, ruido, migración de peces.

### **2.3.4 Energía Hidráulica**

A pesar de que el principio de generación eléctrica con esta fuente de energía es el mismo, para ser considerada energía de tipo renovable, se toma en cuenta únicamente a las centrales pequeñas (menores a 50MW)<sup>7</sup>. Consiste en utilizar el agua de un río en forma de energía potencial para transformarla en energía mecánica y finalmente en electricidad.

#### **2.3.4.1 Mini centrales hidroeléctricas flotantes de aprovechamiento cinético.**

Una Mini Central Hidroeléctrica Flotante de Aprovechamiento Cinético, también llamadas “a filo de agua” consiste en aprovechar la energía cinética del río directamente sin el uso de vertederos ni azudes. Las principales características de

---

<sup>7</sup> Ley del régimen del sector eléctrico.

las Mini Centrales Hidroeléctricas Flotantes de Aprovechamiento Cinético son: compacidad, modularidad, flotabilidad y económica.

Al no estar en contacto con el fondo se evitan los posibles impactos producidos por rocas o similares arrastradas por la corriente. La obra civil necesaria se reduce mucho y la obra de anclaje será mínima en comparación con la construcción de un azud o el empotramiento de mástiles en el lecho del río.

No supone un obstáculo mayor ni para la navegación, ni el movimiento natural de los sedimentos ni las migraciones de las especies acuáticas, esto no modifica el cauce del río, no altera el paisaje y ni conlleva la inundación de parte alguna de la ribera.

La energía hidráulica es la fuente renovable de electricidad más importante y más utilizada en el mundo, registrando 970 GW de capacidad de generación eléctrica en 2011. El crecimiento de centrales hidroeléctricas en el periodo 2001-2011 ha sido del 3% anual. Se estima que aproximadamente dos tercios del potencial hidroeléctrico económicamente viable queda aún por desarrollar. La energía hidráulica no aprovechada es todavía muy abundante en América Latina, África Central, India y China<sup>8</sup>.

### **2.3.5 Energía Solar**

La Energía Solar es aquella que proviene del aprovechamiento directo de la radiación del sol que llega a la tierra, totalmente limpia y 100% renovable. Esto evita un costoso mantenimiento de líneas eléctricas en zonas de difícil acceso como también los costos ambientales y estéticos de la instalación de líneas en esas condiciones ya que es una energía descentralizada que puede ser captada y utilizada en todo el territorio.

---

<sup>8</sup> Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026, México, 2012, SENER.

Una vez instalada tiene un costo energético nulo, el mantenimiento y riesgo de avería es muy bajo. Este tipo de instalación es fácilmente modulable, con lo que se puede aumentar o reducir la potencia instalada según las necesidades. Se trata de una tecnología en rápido desarrollo que tiende a reducir el costo y aumentar el rendimiento.

Una de las desventajas más relevante de la energía solar fotovoltaica es la alta inversión inicial que se presenta, además se debe tener un control sobre las baterías dadas de baja en el sistema, particularmente aquellas que contienen plomo, ya que pueden contaminar el entorno.

### **2.3.6 Energía de la Biomasa**

Se denomina biomasa a toda la materia orgánica que se encuentra en la tierra. Como fuente de energía presenta una enorme versatilidad, permitiendo obtener mediante diferentes procedimientos tanto combustibles sólidos como líquidos o gaseosos de origen vegetal o animal, que incluye los materiales que proceden de la transformación natural o artificial. Cualquier tipo de biomasa proviene de la reacción de la fotosíntesis vegetal, que sintetiza sustancias orgánicas a partir del CO<sub>2</sub> del aire y de otras sustancias simples, aprovechando la energía del sol.

En estos procesos de conversión la energía solar se transforma en energía química que se acumula en diferentes compuestos orgánicos (polisacáridos, grasas) y que es incorporada y transformada por el reino animal, incluyendo al ser humano, el cual invierte la transformación para obtener bienes de consumo. El uso de la biomasa como recurso energético, en lugar de los combustibles fósiles comúnmente utilizados, supone unas ventajas medioambientales de primer orden, como son:

- Disminución de las emisiones de azufre.
- Disminución de las emisiones de partículas.

- Emisiones reducidas de contaminantes como CO, HC y NOX.
- Ciclo neutro de CO<sub>2</sub>, sin contribución al efecto invernadero.
- Reducción del mantenimiento y de los peligros derivados del escape de gases tóxicos y combustibles en las casas.
- Reducción de riesgos de incendios forestales y de plagas de insectos.
- Aprovechamiento de residuos agrícolas, evitando su quema en el terreno.
- Independencia de las fluctuaciones de los precios de los combustibles provenientes del exterior (no son combustibles importados).
- Mejora socioeconómica de las áreas rurales.

Las desventajas que presenta éste tipo de tecnologías es el costo de inversión inicial. En ningún caso los cultivos alimentarios pueden pasar a cultivos energéticos, ya que se presentaría un desabastecimiento de alimentos.

Hay algunos tipos de centrales de generación eléctrica utilizadas en base a esta fuente de energía como son:

- **Central a biomasa:** central que genera electricidad utilizando como combustibles: residuos forestales, residuos agrícolas, residuos agroindustriales y ganaderos y residuos urbanos.
- **Central a biogás:** Central que genera electricidad utilizando como combustible el biogás obtenido en un digestor como producto de la degradación anaerobia de residuos orgánicos. Dentro de esta categoría se destaca el aprovechamiento del biogás proveniente de los rellenos sanitarios. Este tipo de centrales se la desarrollara mas adelante a profundidad como lo señala este trabajo.



### 2.3.7 Energía del Hidrógeno

El hidrógeno es una fuente de energía renovable siempre y cuando las tecnologías ocupadas para su producción hayan sido de éste tipo. Aquí se utiliza la celda de combustible que opera como una batería. Genera electricidad combinando hidrógeno y oxígeno electroquímicamente sin ninguna combustión. A diferencia de las baterías, una celda de combustible no se agota ni requiere recarga. Producirá energía en forma de electricidad y calor mientras se le provea de combustible. El único subproducto que se genera es agua 100% pura.

Una celda de combustible consiste en dos electrodos separados por un electrólito. Oxígeno pasa sobre un electrodo e hidrógeno sobre el otro. Cuando el hidrógeno es ionizado pierde un electrón y al ocurrir esto ambos (hidrógeno y electrón) toman diferentes caminos hacia el segundo electrodo. El hidrógeno migra hacia el otro electrodo a través del electrólito mientras que el electrón lo hace a través de un material conductor. Este proceso producirá agua, corriente eléctrica y calor útil. Para generar cantidades utilizables de corriente las celdas de combustibles son agrupadas en varias capas.

No produce contaminación ni consume recursos naturales: El hidrógeno se toma del agua y luego se oxida y se devuelve al agua. No hay productos secundarios ni tóxicos de ningún tipo que puedan producirse en este proceso.

Los sistemas de hidrógeno tienen una historia de seguridad muy importante. En muchos casos, el hidrógeno es más seguro que el combustible que está siendo remplazado, además de disiparse rápidamente en la atmósfera si se fuga, el hidrógeno, en contraste con los otros combustibles, no es tóxico en absoluto. Tiene una larga vida y poco mantenimiento, aunque las celdas de combustible todavía no han comprobado la extensión de su vida útil, probablemente tendrán una vida significativamente más larga que las máquinas que remplacen.

Debido al escaso desarrollo de la tecnología, aparecen problemas de fiabilidad, la vida útil, etc., aunque esto deberá mejorar con el paso del tiempo y la introducción a nivel comercial de las Pilas de combustible. Lo novedoso de esta tecnología es que la producción de hidrógeno es realizada a partir de fuentes de energías renovables.

Las celdas de combustible de hidrógeno, asociadas en principio al sector automovilístico, en realidad constituyen una práctica muy eficiente de reducidas emisiones de CO<sub>2</sub> para una amplia gama de aplicaciones. Más allá del sector de transporte, los sistemas de pilas de combustible de hidrógeno de energía se están orientando al sector aeroespacial y a las aplicaciones electrónicas portátiles, y ya están abriéndose camino en el respaldo de energía y en los sectores de generación distribuida.

### **2.3.8 Sistemas Híbridos**

Los sistemas Híbridos son la fusión de tecnologías en una misma instalación, tienen por finalidad actuar como respaldo y dar confiabilidad al sistema, si las tecnologías fusionadas son renovables, el sistema híbrido es renovable, se puede pensar en tecnologías que usen diferentes recursos para en caso de faltar un recurso, el otro lo supla. Dentro de las posibles combinaciones se tiene:

- Eólica-Fotovoltaica.
- Eólica-Biomasa.
- Eólica-Hidrógeno.
- Eólica-Fotovoltaica-Hidrógeno.
- Biomasa-Fotovoltaica-Hidrógeno.

Se dan estos casos en especial por la inestabilidad de los sistemas fotovoltaicos y eólicos al tener recursos de gran variabilidad, siendo así que la tecnología de hidrógeno puede ayudar a mantener estable la generación al poder almacenar

energía en caso de faltar sol o viento. De igual manera la generación a través de Biomasa permite tener generación estable en el sistema.

## 2.4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA ECUATORIANA.

### 2.4.1 Datos principales de la generación y pérdidas de energía eléctrica.[1],[2],[3]

Se presenta un resumen del año 2011 con los principales indicadores de generación, precio y algunos datos importantes que nos sirven para el conocimiento del estado en que se encuentra la generación de electricidad en el Ecuador y particularmente aquella con energías no convencionales.

**Tabla 2.1** Principales indicadores de generación en el Ecuador.

<b>GENERACION</b>		
Producción de energía (2011)	21561.51 GWh	100,00%
Producción de energía renovable (2011)	11068.6 GWh	51,33%
Producción Hidráulica (2011)	10801.24 GWh	50,10%
Producción Solar (2011)	0.05 GWh	0,00%
Producción Eólica (2011)	3.46 GWh	0,02%
Producción Térmica Turbo-Vapor (2011)	263.85 GWh	1,22%
Producción de energía no renovable (2011)	9138.31 GWh	42,38%
Producción MCI	4224.66 GWh	19,59%
Producción Turbo-Gas	2322.84 GWh	10,77%
Producción Turbo-Vapor	2590.81 GWh	12,02%
Importaciones	2590.81 GWh	6,28%
<b>PRECIOS</b>		
Precio Medio Residencial	0.0941 USD	
Precio Medio Comercial	0.0783 USD	
Precio Medio Industrial	0.0596 USD	
Precio Medio Alumbrado Público	0.1015 USD	
Precio Otros	0.0616 USD	
Precio Medio	0.0779 USD	
<b>DATOS</b>		
Consumo Per-Cápita	1021 KW/hab	FEB
Potencia Efectiva	4840.5 MW	
Demanda	15155.5 GWh	
Pérdidas en Distribución (Diciembre 2011)	58868.49 GWh	10,00%
Pérdidas en el Sistema Nacional de Transmisión SNT	607.98 GWh	3,71%

Fuente: CONELEC, 2011

## 2.4.2 Tipos de energías utilizadas en el Ecuador.

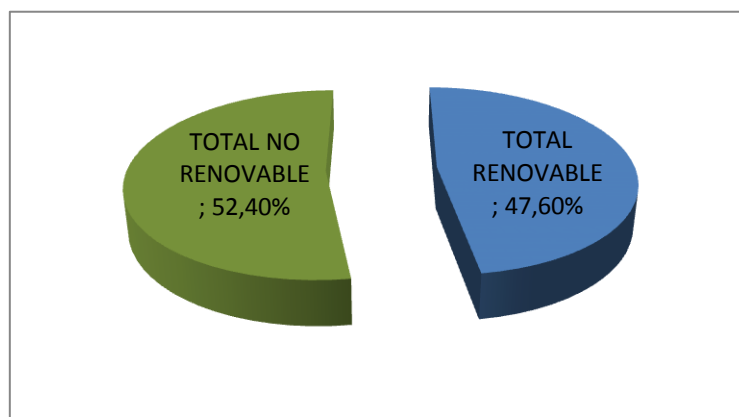
Se han dividido los datos según el tipo de energía y tipo de central como lo indica la Tabla. 2.2. Donde se muestra que la potencia total instalada obtenida de fuentes no renovables es superior a aquella proveniente de fuentes renovables.

**Tabla 2. 2** Potencia instalada por tipo de energías y tipo de central.

TIPO DE ENERGIA	TIPO DE CENTRAL	POTENCIA NOMINAL		POTENCIA EFECTIVA	
		MW	%	MW	%
RENOVABLE	Hidráulica	2234,41	42,71%	2207,17	45,62%
	Térmica Turbovapor*	101,30	1,94%	93,40	1,93%
	Eólica	2,40	0,05%	2,40	0,05%
	Solar	0,04	0,00%	0,04	0,00%
NO RENOVBABLE	Térmica MCI	1459,01	27,89%	1183,65	24,46%
	Térmica Turbogás	976,74	18,67%	897,50	18,55%
	Térmica Turbovapor	458,00	8,75%	454,00	9,38%
TOTAL NO RENOVBABLE		2893,75	55,31%	2535,15	52,40%
TOTAL		5231,90	100,00%	4838,16	100,00%

\*Combustible con biomasa

Fuente: CONELEC, 2011



**Figura 2. 6** Potencia eléctrica (energía renovable y no renovable) instalada en Ecuador.

Fuente: Elaboración Propia

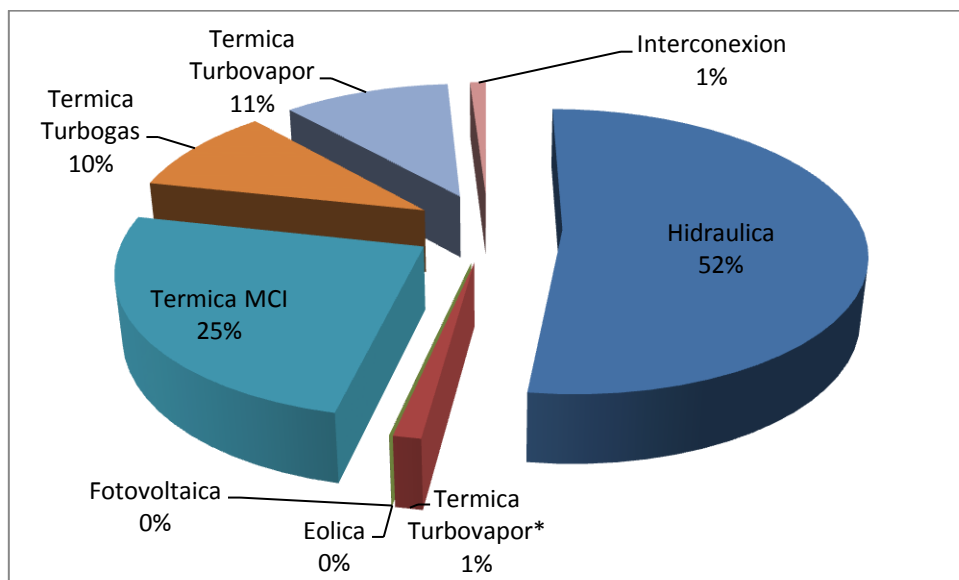
Se presenta los datos de la producción de energía eléctrica en la Tabla 2.3, en la cual se representa gráficamente, como también la demanda de energía q presento el país en ese mismo año.

**Tabla 2. 3** Producción de energía eléctrica a nivel nacional por tipo de fuente energética en el año 2012.

TIPO DE ENERGIA	TIPO DE CENTRAL	ENERGIA	
		GWh	%
RENOVABLE	Hidráulica	12237,72	52,20%
	Térmica Turbovapor*	296,35	1,26%
	Eólica	2,40	0,01%
	Fotovoltaica	0,33	0,00%
<b>TOTAL RENOVABLE</b>		12536,80	53,47%
NO RENOVABLE	Térmica MCI	5841,45	24,91%
	Térmica Turbo gas	2337,05	9,97%
	Térmica Turbovapor	2492,42	10,63%
<b>TOTAL NO RENOVABLE</b>		10670,92	45,51%
<b>INTERCONEXION</b>	Interconexión	238,20	1,02%
<b>TOTAL</b>		23445,92	100,00%

\*Combustible con biomasa

Fuente: CONELEC, 2012

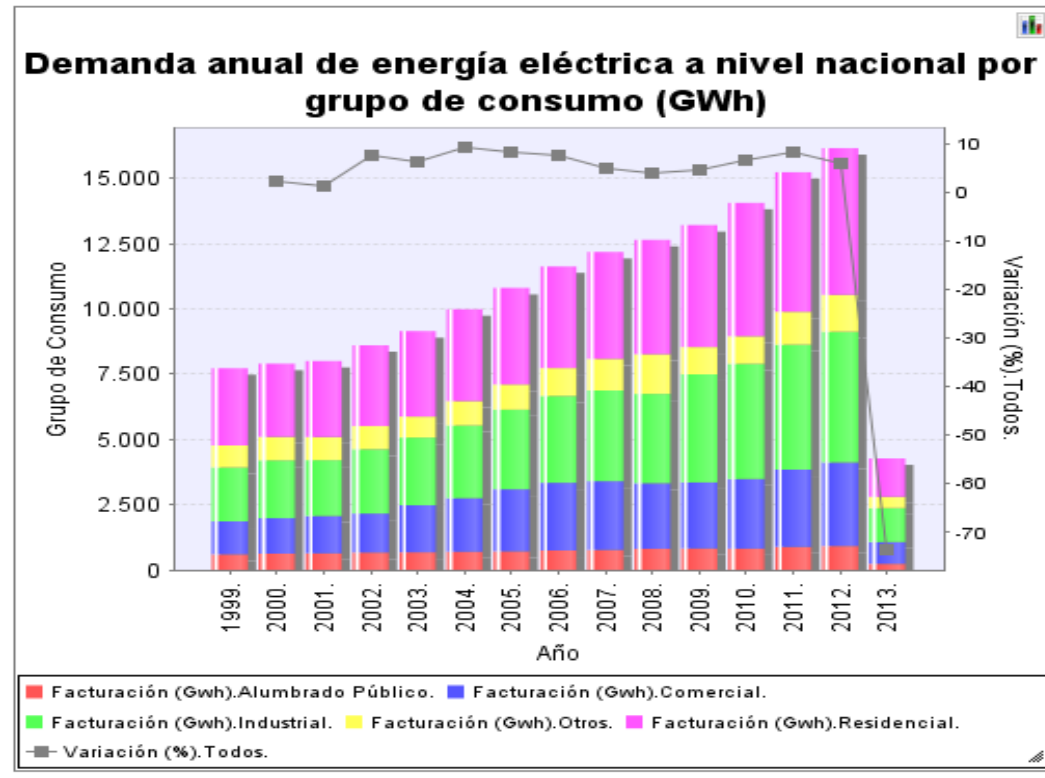


**Figura 2. 7** Producción de energía por tipo de central.

**Tabla 2. 4** Demanda anual de energía eléctrica a nivel nacional por grupos de consumo (GWh)

Año	Facturación (Gwh)						Variación (%)
	GrupoConsumo						GrupoConsumo
	⬇ - Todos	⬇ Alumbrado Público	⬇ Comercial	⬇ Industrial	⬇ Otros	⬇ Residencial	⬆ + Todos
- Todos	161.679,12	10.569,94	31.749,60	47.225,36	15.261,29	56.872,92	
1999	7.730,69	593,21	1.263,99	2.072,56	840,63	2.960,30	
2000	7.904,29	620,24	1.362,01	2.218,43	900,29	2.803,32	2,25 %
2001	8.010,25	634,09	1.432,41	2.139,39	888,61	2.915,74	1,34 %
2002	8.612,43	663,68	1.496,52	2.460,19	893,74	3.098,30	7,52 %
2003	9.151,32	675,04	1.805,04	2.589,59	812,00	3.269,65	6,26 %
2004	9.994,29	696,54	2.051,34	2.792,61	938,17	3.515,64	9,21 %
2005	10.810,73	715,82	2.377,57	3.052,41	962,70	3.702,24	8,17 %
2006	11.636,80	741,24	2.598,15	3.332,52	1.068,81	3.896,09	7,64 %
2007	12.189,25	765,46	2.633,77	3.478,32	1.216,52	4.095,19	4,75 %
2008	12.653,44	806,40	2.519,61	3.418,36	1.524,20	4.384,86	3,81 %
2009	13.217,92	819,57	2.532,71	4.147,86	1.045,50	4.672,28	4,46 %
2010	14.076,61	812,03	2.672,33	4.416,76	1.061,30	5.114,18	6,50 %
2011	15.248,80	882,97	2.955,82	4.797,85	1.261,22	5.350,95	8,33 %
2012	16.169,58	913,01	3.208,86	5.012,36	1.411,56	5.623,78	6,04 %
2013	4.272,71	230,63	839,48	1.296,15	436,04	1.470,41	-73,58 %

**Fuente:** CONELEC, 2012



**Figura 2. 8** Demanda anual de energía eléctrica en el Ecuador por grupo de consumo (GWh).

Fuente: CONELEC, 2012

En la Tabla 2.4 se muestra una columna con la variación porcentual desde el año 2000 de la demanda de energía eléctrica, se obtuvo en promedio que la demanda aumenta en un 6.36% que representa una energía aproximada de 1027.85 GWh que necesitaría el Ecuador aumentar anualmente, por ese motivo se debe cubrir esa demanda con nuevos proyectos de generación eléctrica, ya que se cuenta con los recursos naturales necesarios para hacer de manera limpia si se cuenta con la tecnología adecuada.

### 2.4.3 Estructura del sector eléctrico ecuatoriano.[7]

La estructura del sector está definida por la Ley del Régimen del Sector Eléctrico (LRSE), en cuyo marco jurídico se establecen las siguientes instituciones:

- El Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC)

- El Centro Nacional de Control de Energía (CENACE)
- Las empresas eléctricas concesionarias de generación.
- La empresa eléctrica concesionaria de transmisión.
- Las empresas eléctricas concesionarias de distribución y comercialización.

- **El Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC)**

El CONELEC no ejerce actividades empresariales en el sector eléctrico. Se encarga de desarrollar planes para el desarrollo del sector de la energía eléctrica. Ejerce además todas las actividades de regulación y control definidas en la Ley de Régimen del Sector Eléctrico.

- **El Centro Nacional de Control de Energía (CENACE)**

El Centro Nacional de Control de Energía CENACE, es una corporación civil de derecho privado, de carácter eminentemente técnico, sin fines de lucro, cuyos miembros serán todas las empresas de generación, transmisión, distribución y los grandes consumidores. Se encargará del manejo técnico y económico de la energía en bloque, garantizando en todo momento una operación adecuada que redunde en beneficio del usuario final.

- **Las Empresas Eléctricas Concesionarias de Generación.**

En el año 2010, todas las empresas del sector eléctrico nacional, generadoras, distribuidoras con generación y autogeneradoras, aportaron con 5.142,68 MW de potencia instalada y 4.761,39 MW de potencia efectiva, distribuidos en 206 centrales de generación, conforme a los datos reportados por los agentes del sector. En éstas se incluyen la potencia de las centrales Mazar; Quevedo; y, Santa Elena. [7]



### - Empresa Eléctrica de Transmisión.

El **Sistema Nacional de Transmisión (S.N.T.)** está administrado por la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC), a través de su Unidad de Negocio, Transelectric (CELEC-Transelectric).

Según los datos reportados por el CENACE, durante el año 2010 las subestaciones que forman parte del S.N.T. recibieron 15.745,87 GWh de energía y entregaron 15.208,38 GWh. El total de la pérdidas fue 512,88 GWh, es decir el 3,26 %.

### - Empresas de Distribución

El servicio de distribución de energía eléctrica ha sido concesionado por el CONELEC a 11 empresas eléctricas, sobre la base de lo contenido en la Ley de Régimen del Sector Eléctrico (LRSE) en el artículo 39 del capítulo VII. Estas empresas están obligadas a prestar estos servicios durante el plazo establecido en los contratos de concesión, cumpliendo con normas que garanticen la eficiente atención a los usuarios y el preferente interés nacional. [7]

Las empresas de distribución de energía eléctrica son: la Unidad Eléctrica de Guayaquil, nueve Empresas Eléctricas y la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL) que está conformada por diez Gerencias Regionales.

**Tabla 2. 5** Empresas Eléctricas y la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL) conformada por diez Gerencias Regionales.

N°	CNEL	EMPRESAS ELECTRICAS
1	El Oro	Empresa Eléctrica <b>Ambato</b> , Regional Centro Norte S.A.
2	Esmeraldas	Empresa Eléctrica <b>Azogues</b> S.A.
3	Guayas - Los Ríos	Empresa Eléctrica Regional <b>Centro Sur</b> C.A.
4	Los Ríos	Empresa Eléctrica Provincial <b>Cotopaxi</b> S.A.

5	Manabí	Empresa Eléctrica Provincial <b>Galápagos</b> S.A.
6	Milagro	Empresa Eléctrica Regional <b>Norte</b> S.A.
7	Santa Elena	Empresa Eléctrica <b>Quito</b> S.A.
8	Santo Domingo	Empresa Eléctrica <b>Riobamba</b> S.A.
9	Sucumbíos	Empresa Eléctrica Regional del <b>Sur</b> S.A.
10	Bolívar	Empresa Eléctrica <b>Bolívar</b> S.A.

Fuente: Elaboración Propia

Tomando en cuenta la iniciativa del Gobierno Nacional en dar un giro importante al funcionamiento del sector eléctrico se crearon nuevos actores:

- **Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER)**, mediante el artículo 237 de la Constitución de la República del Ecuador (previo a la formación de la Asamblea Constituyente) y mediante Decreto Ejecutivo 475 se crea en Quito el 9 julio de 2007 el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), con el objetivo de servir a la sociedad mediante la formulación de la política nacional y gestión de proyectos del sector eléctrico.
- **Corporación Nacional de Electricidad (CNEL)**, Tomando en cuenta el artículo 237 de la Constitución de la República del Ecuador (previo a la formación de la Asamblea Constituyente) y mediante Decreto Ejecutivo 475 se crea en Quito el 9 julio de 2007 el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), con el objetivo de servir a la sociedad mediante la formulación de la política nacional y gestión de proyectos del sector eléctrico.
- **Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC)**, con las disposiciones del Mandato No. 15, el 13 de febrero de 2009 se crea la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC), con la finalidad de fusionar las empresas de generación estatales para incentivar la entrada de nuevos proyectos de generación mediante el mejoramiento de la eficiencia, la optimización de recursos y la aplicación de mejores prácticas técnicas administrativas y financieras. La Corporación Eléctrica del Ecuador asume todos los derechos y obligaciones de las compañías que se fusionan: Electroguayas,

Hidropaute, Hidroagoyán, Termopichincha, Termoesmeraldas y Transelectric. Las seis empresas pasan a convertirse en unidades estratégicas de negocio, cuya misión será la de generar y transmitir energía eléctrica a menor costo, confiable y con calidad.

- **Empresa Pública Estratégica Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP)**, Mediante Decreto Ejecutivo No. 220, firmado el 14 enero de 2010 se crea la Empresa Pública Estratégica Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP). Esta institución pública agrupará la generación, transmisión, distribución, comercialización, importación y exportación de electricidad y la ampliación del sistema eléctrico. Dentro de sus competencias están la promoción, inversión, y creación de empresas filiales, subsidiarias, consorcios y alianzas estratégicas.

#### **2.4.4 Proyectos de eficiencia energética y energía renovable en el Ecuador promovidos por el MEER**

Desde 2007, el MEER, a través de la Subsecretaría de Energía Renovable y Eficiencia Energética, es la autoridad rectora de la gestión energética eficiente y del desarrollo de las energías renovables en el territorio ecuatoriano, y como tal, determina, políticas, estrategias y directrices energéticas basadas en la sostenibilidad, seguridad y la diversificación; y fomenta el levantamiento de información y generación de conocimiento; y la aplicación de tecnologías eficientes y amigables con el medio ambiente, para mitigar los efectos del cambio climático y apuntalar hacia un desarrollo económico sostenible. [7]

##### **2.4.4.1 Proyectos en ejecución. [4]**

- Normalización refrigeradoras; Normalización focos ahorradores.
- Auditorías energéticas en Edificios Públicos y Hospitales.
- Auditorías Energéticas en el Sector Industrial y Hotelero.

- Campaña de promoción de proyectos EE (idónea para cada proyecto).
- Capacitación profesional en Gestión Energética (cooperación Cuba)

#### **2.4.4.2 Proyectos en planificación. [4]**

- Plan Nacional de Eficiencia Energética
- Ley de fomento de la eficiencia energética
- Proyecto de ley de Biocombustibles
- Estudios de prefactibilidad de 14 mini centrales hidroeléctricas (convenio con universidades)
- Estudios de prefactibilidad con organismos seccionales a nivel nacional
- Estudios de factibilidad de mini centrales hidroeléctricas. MEER • PROMEC
- Censo industrial sector textil y plásticos
- Estudio de factibilidad, aprovechamiento de residuos agrícolas, agroindustriales y pecuarios para la obtención de biogás para la generación de energía eléctrica y térmica.
- Estudio de factibilidad, combustión de la cascarilla de arroz para la obtención de energía térmica o eléctrica.
- Programa de Eficiencia Energética en Edificios Públicos
- Proyecto de Eficiencia Energética en el Sector Industrial
- Focos Ahorradores
- Proyecto hidroeléctrico Chorrillos
- Construcción de proyecto hidroeléctrico Mira
- Proyecto eólico Santa Cruz-Baltra
- Convenio de transferencia de conocimiento con el Gobierno Alemán: DED
- Campaña de promoción de proyectos EE (idónea para cada proyecto)

### 2.4.5 Certificados de Reducción de Emisiones en MDL

El Ecuador estableció como política de Estado la adaptación y mitigación al cambio climático mediante la firma de convenios internacionales como el Protocolo de Kyoto en el que se cuenta con instrumentos de flexibilidad, dentro de los cuales se encuentra el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Tres tipos de proyectos son considerados:

1. Proyectos de reducción de emisiones de gases del efecto de invernadero, en sectores donde se producen emisiones “energéticas”.
2. Proyectos de fijación de carbono a través de actividades de forestación y reforestación.
3. Proyectos de reducción de emisiones de gases del efecto de invernadero considerados como de pequeña escala.

El proceso de acreditación de Certificados de Reducción de Emisiones para MDL requiere del cálculo del Factor de Emisiones. El Ecuador ha escogido la opción 1 de cálculo de Factor de Emisiones propuesta por las Naciones Unidas. La opción 1 se fundamenta en usar la suma de capacidad de las plantas de generación en el sistema eléctrico que corresponde al 20% de las unidades más recientes agregadas al sistema.

En el Ecuador el *factor de emisión de CO<sub>2</sub>*<sup>9</sup> del Sistema Nacional Interconectado al año 2012, del margen combinado para proyectos termoeléctricos e hidroeléctricos es de 0,4597 tCO<sub>2</sub>/MWh, para energías renovables no convencionales es de 0,5689 tCO<sub>2</sub>/MWh, para termoeléctricos e hidroeléctricos es

---

<sup>9</sup> FACTOR DE EMISIÓN DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO AL AÑO 2012, Ministerio del Ambiente, Informe 2012.

de 0,4850 tCO<sub>2</sub>/MWh y en energías renovables no convencionales es de 0,6069 tCO<sub>2</sub>/MWh. (11).

Con los valores dichos en el párrafo anterior, se multiplica por la energía disminuida al SNI de cualquier proyecto que se desea participar y se obtiene el valor de toneladas de CO<sub>2</sub> disminuidas en un año. Luego se lo multiplica por el precio de la tonelada y ese es el valor en dinero que tendrían si se logra vender los bonos de carbono en el mercado internacional.

## 2.5 ENERGÍAS RENOVABLES IMPLEMENTADAS EN EL ECUADOR.

### 2.5.1 Generación renovable existente.

La realidad nacional actual, de acuerdo al Consejo Nacional de Electricidad mediante su publicación “Plan Maestro de Electrificación 2012-2021” del año 2012, presenta, en lo que se refiere a generación eléctrica con energías renovables, los siguientes aportes respecto de la generación total: hídrica 50,10%, biomasa 1,22%, eólica 0,02% y solar 0,0002%.

### 2.5.2 Proyectos en marcha

A continuación se presenta un detalle de los proyectos de generación eléctrica con fuentes renovables, que se han incorporado recientemente o que se encuentran en construcción.

**Tabla 2. 6** Centrales recién incorporadas y proyectos en marcha.

PROYECTO/ CENTRAL	POT MW	ENERGIA GWh/año	UBICACIÓN/ PROVINCIA	TIPO DE GENERACION	ESTADO
HUASCACHACA	50,00	101,00	Azuay	EÓLICA	CONSTRUCCION
SALINAS	10,00	36,10	Imbabura	EÓLICA	CONSTRUCCION
VILLONACO	16,50	59,57	Loja	EÓLICA	OPERACION
TOACHI PILATÓN	253,00	1120,00	Sto. Domingo de los Tsáchilas, Pichincha y Cotopaxi	HIDROELÉCTRICA	CONSTRUCCION
MANDURIACU	60,00	353,00	Pichincha	HIDROELÉCTRICA	CONSTRUCCION
COCA CODO SINCLAIR	1500,0 0	8743,00	Napo y Sucumbios	HIDROELÉCTRICA	CONSTRUCCION

QUIJOS	50,00	355,00	Napo	HIDROELÉCTRICA	CONSTRUCCION
MAZAR DUDAS	21,00	125,40	Cañar	HIDROELÉCTRICA	CONSTRUCCION
MINAS SAN FRANCISCO	275,00	1290,00	Azuay y El Oro	HIDROELÉCTRICA	CONSTRUCCION
DELSITANISAGUA	115,00	904,00	Zamora Chinchipe	HIDROELÉCTRICA	CONSTRUCCION
PAUTE MAZAR	170,00	900,00	Azuay y Cañar	HIDROELÉCTRICA	OPERACION
PAUTE SOPLADORA	487,80	2770,00	Azuay y Morona Santiago	HIDROELÉCTRICA	CONSTRUCCION
OCAÑA	26,00	203,00	Cañar	HIDROELÉCTRICA	OPERACION
MULTIPROPÓSITO BABA	42,00	161,00	Los Ríos	HIDROELÉCTRICA	OPERACION
VICTORIA	10,00	63,80	Napo	HIDROELÉCTRICA	CONSTRUCCION
CHORRILLOS	4,00	21,00	Zamora Chinchipe	HIDROELÉCTRICA	CONSTRUCCION
ISIMANCHI	2,25	16,80	Zamora Chinchipe	HIDROELÉCTRICA	OPERACION
BUENOS AIRES	1,00	7,00	Imbabura	HIDROELÉCTRICA	CONSTRUCCION
TOPO	22,80	164,00	Tungurahua	HIDROELÉCTRICA	CONSTRUCCION
SAN JOSÉ DEL TAMBO	8,00	50,50	Bolívar	HIDROELÉCTRICA	CONSTRUCCION
SAN JOSÉ DE MINAS	6,40	37,00	Pichincha	HIDROELÉCTRICA	CONSTRUCCION
PASCUALES 2	132,00	492,00	Guayas	HIDROELÉCTRICA	CONSTRUCCION
MIRAFLORES TG1	22,00	81,60	Manabí	TERMOELÉCTRICA	CONSTRUCCION
QUEVEDO	102,00	759,00	Los Rios	TERMOELÉCTRICA	CONSTRUCCION
SANTA ELENA	90,10	671,00	Santa Elena	TERMOELÉCTRICA	CONSTRUCCION
MANTA II	20,40	86,40	Manabí	TERMOELÉCTRICA	OPERACION
JARAMIJÓ	149,00	979,00	Manabí	TERMOELÉCTRICA	OPERACION
JIVINO	45,00	296,00	Orellana	TERMOELÉCTRICA	OPERACION
BALTRA – SANTA CRUZ	3,50	12.63	Galapagos	EÓLICA	CONSTRUCCIÓN

**Fuente:** Plan maestro de electrificación 2012 – 2021, MEER. [4]

Existen proyectos en diferentes fases de estudios como son [4]:

- Membrillo en la provincia de Loja. Proyecto de inversión privada con unan potencia de 45 MW.
- Las Chinchas de inversión privada en la provincia de Loja 10 MW.
- Ducal de 6 MW, inversión privada en la provincia de Loja.

La generación fotovoltaica del tipo “aislada” es sumamente escasa y los diferentes sistemas instalados se encuentran ubicados en poblaciones rurales completamente alejadas donde no es posible llevar energía eléctrica por medio de las redes de las diferentes empresas eléctricas de distribución. Según datos del CONELEC, en el país habría instalada una potencia de 20 kW de energía fotovoltaica, estas cifras corresponden principalmente a los paneles instalados por el Estado mediante diversos programas e instituciones estatales. Esta cifra podría aumentar al contabilizar los pocos sistemas fotovoltaicos privados instalados, sin

que esto modifique en gran medida la cifra oficial. Además se encuentran en ejecución los estudios de otros proyectos con lo cual la generación fotovoltaica estaría próxima a 1 MW. [4]

**Tabla 2. 7** Proyectos fotovoltaicos en el Ecuador en estudio.

PROYECTO	KW	LUGAR
ARAJUNO	14,60	NAPO - PASTAZA
SARAYACU	17,10	PASTAZA
ESMERALDAS	103,90	ESMERALDAS
NAPO	122,80	NAPO
ESMERALDAS NEGRO	460,00	ESMERALDAS
VICHE	210,00	ESMERALDAS
SANTAY	22,70	GUAYAS
CHIRIBOGA	15,00	PICHINCHA

**Fuente:** Plan maestro de electrificación 2012 – 2021, MEER. [4]

La primera central de generación fotovoltaica en el Ecuador, integrada a la red está ubicada en Pimampiro, Imbabura, es una central construida por la empresa Valsolar y tiene una capacidad instalada de casi 1 megavatio (MW), que permitirá producir anualmente un promedio de 1 472 megavatios por hora (MWh) de energía limpia.

Como esta, otras 15 centrales fotovoltaicas entrarán en funcionamiento entre 2013 y 2014, además de dos centrales que utilizan biomasa para la generación.

Todas serán constituidas por empresas privadas que generarían 287,7MW de potencia, que se distribuirá de la siguiente manera:

- En Pichincha estarían: Desarrollos Fotovoltaicos del Ecuador (50MW), Condorsolar (30MW), Solarconnection (20MW), Enercay (10MW) y Sun Energy (16MW).
- En Imbabura trabajarán: Ecuador Energético (25MW), Racalser (8MW), Supergaleón (6MW) y Gransolar (2MW) y



- En Manabí irán: Energía Solar (30MW) y Energías Manabitas (12MW).

Por otra parte, Aenerdor (10MW) tendrá su proyecto en Esmeraldas, Galápagos Power (8MW) en Loja, Ecuador Energético (25MW) irá con otro proyecto a Santa Elena y Guitarsa (20MW) estará en Guayas. Mientras que en generación, a través de biomasa, están Compensafer (10,7MW) en Manabí y Gasgreen (5MW) en Pichincha.<sup>10</sup>

Cualquier otra manifestación de generación eléctrica mediante fuentes renovables diferentes a las ya mencionadas no existe en el Ecuador. Energía como la geotérmica está en fase de investigación del posible recurso. Una de los principales limitantes que ha impedido que se desarrollen estudios del recurso geotérmico con fines de generación eléctrica es el alto costo de los mismos, pues son estudios sumamente complejos que requieren de perforaciones muy profundas, análisis geofísicos, geotécnicos, químicos, etc. Sin embargo, el Estado invierte en el estudio de algunas geotérmicas, trabajando en los estudios de Prefactibilidad Inicial de los Proyectos Geotérmicos Chacana, Chachimbiro y Tufiño, se presenta algunos datos en la Tabla 2.8.

**Tabla 2. 8** Proyectos geotérmicos en estudio en Ecuador

PROYECTO GEOTÉRMICO	POT (MW)	UBICACIÓN/PROVINCIA	FECHA ESTIMADA DE OPERACIÓN
CHACANA	318,00	Napo-Pichincha (Cantón: Quijos-Quito)	ENERO DEL 2017
CHACHIMBIRO	113,00	Imbabura (Cantón San Miguel de Urcuqui).	ENERO DEL 2017
TUFIÑO	138,00	Imbabura.	ENERO DEL 2018

Fuente: CELEC<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Plan maestro de electrificación 2012 – 2021, MEER.

<sup>11</sup> Proyectos de energías renovables.

[http://www.celec.com.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=102%3Aenergia-renovable&catid=53%3Aenergias-renovables&Itemid=213&lang=es](http://www.celec.com.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=102%3Aenergia-renovable&catid=53%3Aenergias-renovables&Itemid=213&lang=es)

Energías como la undimotriz, mareomotérmica o mareomotriz, son prácticamente desconocidas o el conocimiento sobre las mismas es muy limitado. La tecnología utilizada para generar electricidad con este tipo de energías es relativamente nueva y aún se encuentra en pleno desarrollo por lo que no tienen mayor difusión.

## **2.6 INCENTIVOS PARA LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL ECUADOR.**

A continuación se detallan las políticas de incentivo a las energías renovables más importantes que se han aplicado en el sector eléctrico ecuatoriano, para luego analizar cómo han evolucionado estas energías en los últimos años.

### **2.6.1 Políticas de incentivo a las Energías Renovables en Ecuador [10]**

El artículo 63 de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico (LRSE) establece que el Estado incentivará el uso de los recursos energéticos no convencionales. Además, el artículo 64 establece que CONELEC establecerá las normas para el despacho de la electricidad a partir de estas fuentes, asimismo el artículo 53 del Reglamento General de la LRSE establece que CONELEC dictará las reglamentaciones para la operación de las centrales de generación que utilicen estas fuentes. Por esta razón, CONELEC dicta regulaciones periódicamente (normalmente cada 2 o 3 años) en las cuales establece las reglamentaciones para las centrales renovables que se instalen a partir de la fecha de entrada de la nueva regulación, así como otros que se deben cumplir en la operación de todas las centrales renovables (incluso las anteriormente instaladas). [7]

Se usa como mecanismo de incentivo a las energías renovables el imponerse un precio consolidado al cual se debe pagar la generación de energía a partir de las diferentes fuentes renovables. Por esta razón, las regulaciones de CONELEC establecen precios fijos para las diferentes fuentes de energía renovable, estos precios van cambiando en cada nueva regulación. Los precios actualmente

vigentes, según la Regulación No. CONELEC - 004/11 (2011) con su modificación en la Resolución N° 017/12 (2012), son los siguientes:

**Tabla 2. 9** Precios Preferentes Energía Renovables en (cUSD/kWh)

Centrales	Territorio Continental	Territorio Insular de Galápagos
EÓLICAS	9.13	10.04
FOTOVOLTAICAS	40.03	44.03
SOLAR TERMOELÉCTRICA	31.02	34.12
CORRIENTES MARINAS	44.77	49.25
BIOMASA Y BIOGÁS < 5 MW	11.05	12.16
BIOMASA y BIOGÁS > 5 MW	9.60	10.56
GEOTÉRMICAS	13.21	14.53

**Fuente:**, Resolución No. CONELEC – 017/12. [6]

Además, para las centrales hidroeléctricas de hasta 50 MW se reconocerán los precios indicados en la Tabla 2.9 expresados en centavos de dólar de los Estados Unidos por kWh generado. No se reconocerá pago por disponibilidad a este tipo de centrales que se acojan a la presente Regulación.

**Tabla 2. 10** Precios preferentes centrales hidroeléctricas hasta 50MW en (cUSD/kWh)

CENTRALES	PRECIO
CENTRALES HIDROELECTRICAS HASTA 10MW	7,17
CENTRALES HIDROELECTRICAS MAYORES A 10MW HASTA 30MW	6,88
CENTRALES HIDROELECTRICAS MAYORES A 30MW HASTA 50MW	6.21

**Fuente:** Regulación No. CONELEC – 004/11 [5]

Estos valores fueron modificados por el directorio del CONELEC, mediante la Resolución N°010/13 del 21 de mayo del 2013, los cuales se los pondrán revisar en el Anexo C, ya que no fueron considerados en este proyecto sino los antes expuestos.

Los posibles desarrolladores de proyectos de energía renovable pueden solicitar el tratamiento preferencial con los precios mencionados anteriormente y el resto de

los beneficios. Estos desarrolladores son habilitados por CONELEC, previo una verificación y se acogen a todos los beneficios estipulados en la regulación.

El CENACE debe considerar el cargo correspondiente, en la liquidación a los distribuidores y grandes consumidores, para remunerar a los generadores renovables con los precios establecidos en esta regulación.

Los generadores menores a 1 MW deben registrarse y entregar su energía a los distribuidores, y la energía se liquidará a los precios establecidos en esta regulación facturándole a la correspondiente empresa distribuidora.[10]

### **2.6.2 Vigencia de los precios.[5]**

Los precios establecidos en esta Regulación se garantizarán y estarán vigentes por un período de 15 años a partir de la fecha de suscripción del título habilitante, para todas las empresas que hubieren suscrito dicho contrato hasta el 31 de diciembre de 2012.

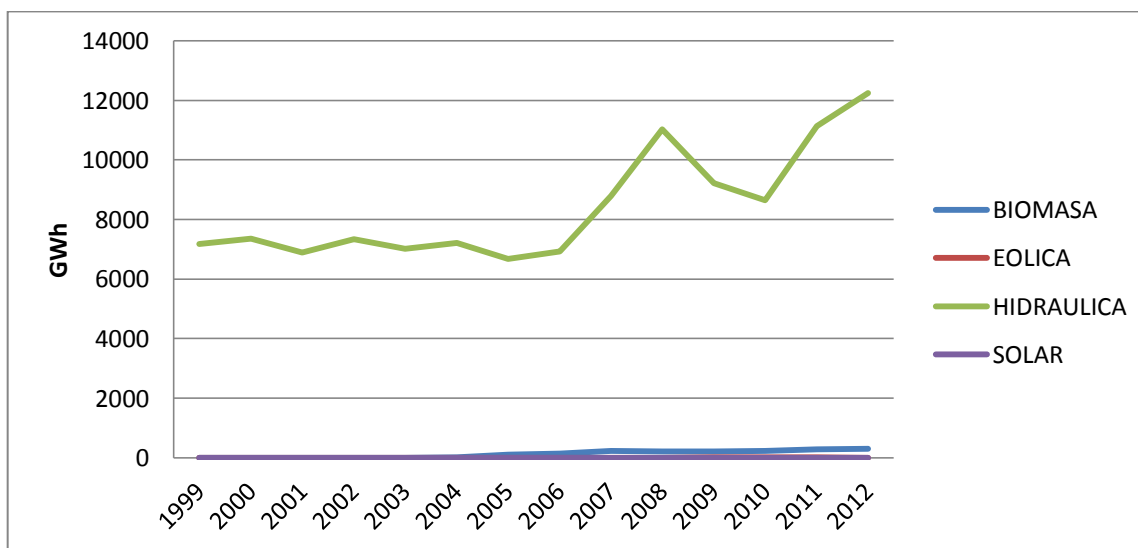
Cumplido el periodo de vigencia indicado en el párrafo inmediato anterior, y hasta que se termine su plazo determinado en el título habilitante de las centrales renovables no convencionales operarán en el sector eléctrico ecuatoriano, con un tratamiento similar a cualquier central de tipo convencional, de acuerdo a las normas vigentes a esa fecha, con las siguientes particularidades:

- Para los generadores de la Tabla 2.9, el precio de venta de la energía de estas centrales después de concluido el periodo de precios preferente, se negociará con la normativa vigente a esa época.
- Para los generadores de la Tabla 2.10, el precio de venta de la energía de estas centrales después de concluido el periodo de precios preferente se liquidará con el promedio de precio de contratos regulados

de centrales o unidades de generación en operación, correspondiente a esa tecnología vigentes a esa fecha.

### 2.6.3 Evolución de las Energías Renovables en Ecuador [10]

En la Figura 2.9, se muestra como ha crecido la generación de energía a partir de fuentes renovables en Ecuador. La evolución de la generación se muestra en GWh generados por año. Todas las evoluciones se muestran separadas por tipo de fuente de generación renovable, en este caso, Ecuador ha explorado las fuentes hidráulicas, solares, eólicas y de biomasa. Por otro lado, cabe mencionar que los datos solo existen desde el año 1999,. Asimismo, se incluye el año de entrada de la primera regulación que afectó a las renovables con precios fijados por CONELEC (CONELEC 004/04), para poder apreciar cómo ha influido este incentivo en la evolución de las energías renovables.



**Figura 2. 9** Evolución de energías renovables en el Ecuador

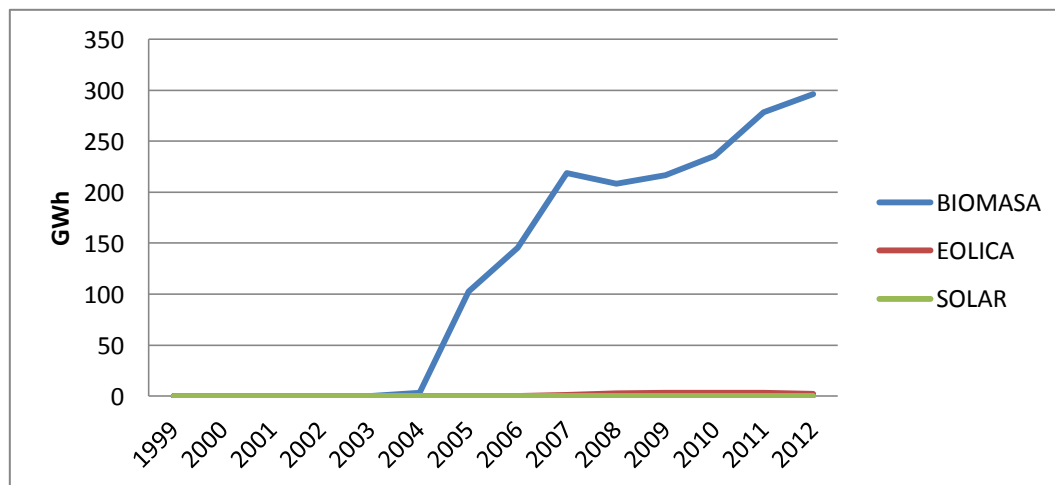
Fuente: CONELEC, 2012

En la Figura 2.9, se puede apreciar como la energía hidráulica básicamente se ha mantenido en el tiempo para la generación eléctrica. En el caso de la capacidad se puede apreciar como esta ha ido aumentando lentamente, buscando poder

cumplir con el crecimiento de la demanda en estos años, también han crecido otro tipo de fuentes, como las térmicas y en menor medida las otras renovables.

Con respecto al incentivo de precios de CONELEC, no es apreciable a simple vista con estos gráficos si estas regulaciones afectaron de alguna forma al aumento de la capacidad y generación a partir de energía hidráulica en los últimos años, ya que esto ocurre seguramente debido a una necesidad de satisfacer la demanda. Por otro lado, la regulación solo afecta a las centrales mini-hidráulicas y al no poseer la estadística de este tipo de fuente (diferenciada al resto de las centrales hidráulicas), no es posible saber cómo afectó esta regulación a esta fuente en particular.

Al ser la energía hidráulica tan superior en cantidad instalada y generada al resto, es imposible ver cómo evoluciona el resto de las energías, es por esto que en la Figura 2.10 se muestra la evolución de estas mismas fuentes sin considerar a la energía hidráulica.



**Figura 2. 10** Evolución de energías renovables en el Ecuador, sin considerar la energía hidráulica.

Fuente: CONELEC, 2012

En la Figura 2.10, se puede apreciar un crecimiento sostenido de la generación a partir de la energía de biomasa. Asimismo se aprecia un crecimiento en la energía eólica en los últimos años, aunque todavía muy bajo, que es apenas visible en estos gráficos. Lo mismo se puede apreciar para la energía solar, ya que ha crecido, pero en valores muy bajos, tales que ni siquiera se pueda apreciar el crecimiento en los gráficos. Por otro lado, los crecimientos de la generación y capacidad en porcentaje con respecto al total tienen la misma forma que los gráficos de cantidad, debido a que estas tecnologías parten de cero.

Por otro lado, si consideramos el año de entrada del incentivo fijado por CONELEC, se puede apreciar que a partir de este año la capacidad y generación a partir de biomasa comenzó a incrementarse en gran medida. Asimismo, se puede considerar que el incremento de las energías eólicas y solares se debe a este incentivo, el cual ha ido cambiando los precios a lo largo de las diferentes regulaciones que surgen cada 2 años. Sin embargo, este crecimiento todavía es muy bajo y es de esperar que comiencen a aumentar en mayor medida o se deberán considerar nuevos cambios en la regulación y quizás algún nuevo tipo de incentivo para complementar al existente.

Un ejemplo es el proyecto eólico Villonaco (16.5MW), ubicado en el cerro del mismo nombre en la ciudad de Loja a una altura de 2720 metros sobre el nivel del mar, inicio operaciones el 2 de enero del 2013 para entregar energía al Sistema Nacional Interconectado.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> El proyecto eólico Villonaco inició operaciones, 3 de enero del 2013  
<http://www.energia.gob.ec/2013/01/>



**Figura 2. 11.** Parque eólico Loja

**Fuente:** Loja City, Parque eólico Loja  
<http://lojacity.com/parque-eolico-loja/>

Buscando una alternativa de generación eléctrica se analizara a la biomasa como una opción limpia, eficiente y confiable, realizando una conversión de biomasa en energía para ello se hace la transformación en combustibles líquidos o gaseosos, el cual lo analizaremos en el siguiente capítulo.

## 2.7 REFERENCIAS

- [1] Estadísticas del sector eléctrico ecuatoriano 2011, CONELEC.
- [2] Boletín estadístico, Sector eléctrico ecuatoriano 2011, CONELEC.
- [3] Resumen estadístico 2011, CONELEC.
- [4] Plan maestro de electrificación 2012 – 2021, MEER.
- [5] Regulación No. CONELEC – 004/11
- [6] Resolución No. CONELEC – 017/12
- [7] Ley del régimen del sector eléctrico.
- [8] Promoviendo el desarrollo de energías renovables, 2011. Pierce Atwood.  
[www.naruc.org/USAID/REHandbook](http://www.naruc.org/USAID/REHandbook).





- [9] Hacia una matriz energética diversificada, Miguel Castro. CEDA
- [10] Juan Pablo Kindermann Bassano, Análisis comparativo de mecanismos de integración de ERNC en sistemas eléctricos, Tesis de grado. Universidad de Chile.
- [11] FACTOR DE EMISIÓN DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO AL AÑO 2012, Ministerio del Ambiente, Informe 2012.

## CAPÍTULO 3

### LA BIOENERGIA

#### 3.1 ANTECEDENTES

Desde principios de la humanidad, después del descubrimiento del fuego, la biomasa ha sido el primer combustible utilizado por el hombre y por tanto la principal fuente de energía empleada hasta los inicios de la revolución industrial. Esta fuente de energía ha logrado satisfacer diferentes necesidades muy importantes en la época, como por ejemplo, en el hogar la biomasa se utilizaba e incluso actualmente en los sectores rurales se sigue utilizando, como combustible para producir fuego para la preparación de alimentos o para obtener una temperatura agradable en el hogar especialmente en climas fríos; también se la sigue utilizando para la elaboración de cerámicas, metales, producción de ladrillo, etc. A medida que ha ido transcurriendo el tiempo, se ha logrado encontrar otros combustibles que a diferencia del anterior, aportan con mayor poder calorífico como por ejemplo el carbón, el petróleo, el gas natural, etc. Este tipo de energías, aparte de contaminar el ambiente, son de carácter no renovable pero actualmente se encuentran en auge debido a la gran demanda mundial. Hoy en día la biomasa puede jugar un papel muy importante en la sociedad, ya que es un tipo de energía renovable que es muy fácil de encontrar, almacenar y es más barata que otro tipo de energía renovable como por ejemplo la eólica y solar.

A pesar de que el ser humano en épocas pasadas ha logrado sobrevivir con elementos primordiales como el aire, agua, luz solar, etc., hoy en día la vida cotidiana depende mucho de la energía eléctrica. La energía eléctrica en épocas actuales y futuras seguirá siendo la energía fundamental para desarrollar nuestras actividades y por la cual todo equipo analógico, digital o avance tecnológico descubiertos después del telégrafo eléctrico de Samuel Morse (1833), no desempeñarán ninguna función si no existe la electricidad. Por ello, se ha visto

necesario buscar fuentes no convencionales para generar energía eléctrica, que en nuestro caso es el estudio de una central eléctrica a biogás.

### 3.2 LA BIOMASA.

De forma genérica, por biomasa se entiende, al conjunto de materia orgánica de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma, que haya tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico. De forma que el término “Biomasa” es un amplio concepto, que en sentido material energético se aplica a las materias hidrocarbonadas no fósiles, en las cuales la radiación solar ha conseguido la reducción del Hidrogeno y el Carbono mediante el proceso de la fotosíntesis; por esta razón se presenta de manera periódica y no limitada en el tiempo, es decir, de forma renovable.<sup>13</sup>

Por otro lado la bioenergía, es un tipo de energía renovable que representa la energía solar que se encuentra almacenada en elementos que forman parte de la masa biológica.

#### 3.2.1 Clasificación de la biomasa

Existen dos formas de clasificar la biomasa, la primera es por su origen y la segunda es desde el punto de vista ecológico.

- **Por su origen. [2]**

- **Biomasa Residual.** Es la que proviene de actividades agrícolas, forestales, silvícolas, jardinería, ganadería, industria alimenticia, residuos sólidos urbanos, depuradoras de agua, etc. Por ejemplo la paja de trigo, desechos de aserraderos, cascaras de arroz, aguas residuales urbanas e industriales, etc.

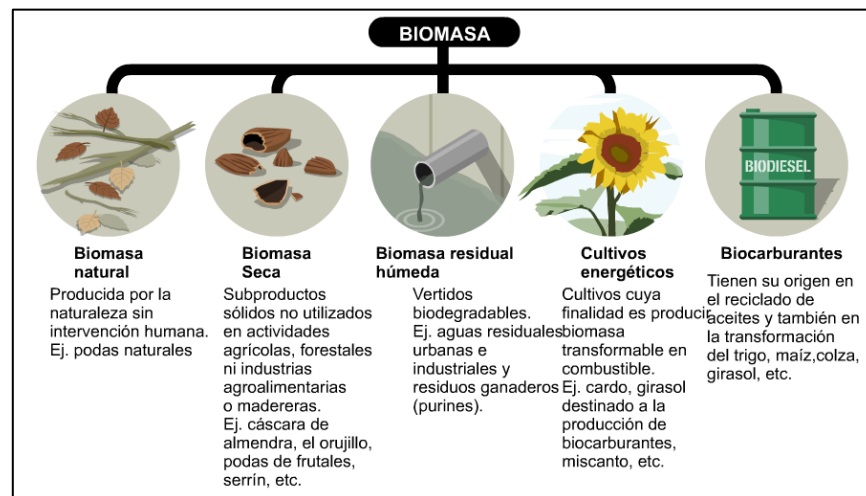
---

<sup>13</sup>Concepto de biomasa

[http://www.cubaenergia.cu/onudi/index.php?option=com\\_content&view=article&id=50&Itemid=51](http://www.cubaenergia.cu/onudi/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=51)

- **Biomasa Natural.** Es la que se produce espontáneamente en la naturaleza sin ningún tipo de intervención humana, como por ejemplo la caída de ramas muertas en los bosques.

**Cultivos Energéticos o biomasa producida.** Son cultivos de crecimiento rápido que se realizan con la única finalidad de producir biomasa transformable en alguna de sus tipologías: térmica, eléctrica, o mediante su transformación en biocarburantes.



**Figura 3. 1** Clasificación de la biomasa por su origen

Fuente: Clasificación de la biomasa

<http://educasitios2008.educ.ar/aula42/category/biomasa/>

- **Desde el punto de vista ecológico [1]**
  - **Biomasa primaria.** Es la materia orgánica formada directamente por los seres fotosintéticos (biomasa vegetal, residuos agrícolas y forestales) como por ejemplo las algas, paja, restos de podas, cascaras de arroz, etc.
  - **Biomasa secundaria.** Es la producida por los seres heterótrofos que utilizan en su nutrición la biomasa primaria. Este tipo de biomasa implica una transformación biológica de la biomasa primaria para

formar un nuevo tipo de biomasa de naturaleza distinta a la inicial. Un ejemplo sería la carne o las deyecciones debidas a los animales herbívoros.

- **Biomasa terciaria.** Es la producida por los seres que se alimentan de biomasa secundaria, como sería el caso de la carne de los animales carnívoros, que se alimentan de los herbívoros.

### 3.2.2 Biocombustibles obtenidos de la biomasa.

Los biocombustibles o biocarburantes, son combustibles sólidos, líquidos o gaseosos producidos a partir de biomasa, entendiendo por tal la materia orgánica biodegradable y que no se encuentra en estado fósil, generan energía mediante un proceso de transformación (fermentación alcohólica, ácidos grasos o descomposición anaeróbica).

Los biocombustibles son un elemento muy importante, debido a que presentan una oportunidad para no depender de otros combustibles, por ejemplo el petróleo, que es un combustible que en épocas de escases el costo del barril es muy elevado, de tal forma que no resulta conveniente su utilización, además es un combustible contaminante y está en decadencia.

#### 3.2.2.1 Clasificación de los biocombustibles.

Según el estado en que se presentan, los biocombustibles pueden clasificar en:

- **Biocombustibles sólidos.**

Los biocombustibles sólidos son aquellos productos que abarca un conjunto heterogéneo de materias orgánicas sólidas, las cuales pueden ser procedentes de las explotaciones forestales, agrícolas, ganaderas y de la industria de transformación.

- **Biocombustibles líquidos o Biocarburantes.**

Son combustibles obtenidos a partir de material vegetal, por ejemplo los aceites y alcoholes son obtenidos principalmente de plantas. Es posible obtener aceites a partir de más de 300 especies vegetales, fundamentalmente extraídos a partir de semillas y frutos. Los aceites más utilizados son los procedentes de la colza en mayor medida y en menor medida aceite de palma, de girasol, de soja, etc.<sup>14</sup>

- **Biocombustibles Gaseosos.**

Los biocombustibles gaseosos son aquellos combustibles de origen no fósil obtenidos a partir de la descomposición de materia orgánica en condiciones de ausencia de oxígeno (fermentación anaeróbica de biomasa).<sup>15</sup> Por ejemplo: el biogás, el gas de gasógeno, el hidrógeno, etc.

Producir biocombustibles de diferentes materiales pertenecientes a la biomasa ha sido una prioridad para ciertos negocios e investigadores hoy en día. En la Tabla 3.1 podemos observar los tipos de biocombustibles más utilizados que se pueden obtener de la biomasa.

---

<sup>14</sup> Biocombustibles líquidos, Estrucplan, Publicado: 1/1/2000  
<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?idarticulo=234>

<sup>15</sup> Agencia provincial de la energía de Burgos-AGENBUR  
<http://www.agenbur.com/es/contenido/index.asp?iddoc=409>

**Tabla 3. 1** Tipos de biocombustibles de la biomasa

Tipos de biocombustibles obtenidos de biomasa	
<b>SÓLIDOS</b>	
<input type="checkbox"/>	Paja
<input type="checkbox"/>	Leña sin procesar
<input type="checkbox"/>	Astillas
<input type="checkbox"/>	Briquetas y "pellets"
<input type="checkbox"/>	Triturados finos (menores de 2 mm)
<input type="checkbox"/>	Carbón vegetal
<b>LÍQUIDOS</b>	
<input type="checkbox"/>	Alcoholes
<input type="checkbox"/>	Biohidrocarburos
<input type="checkbox"/>	Aceites vegetales y ésteres derivados de ellos
<input type="checkbox"/>	Aceites de pirólisis
<b>GASEOSOS</b>	
<input type="checkbox"/>	Gas de gasógeno
<input type="checkbox"/>	Biogás
<input type="checkbox"/>	Hidrógeno

**Fuente:** Energía de la Biomasa, Jesús Fernández

### 3.2.3 Valor energético de la biomasa

El valor energético de la biomasa depende mucho del tipo (Tabla 3.2), por lo general es menor al de los combustibles comunes. Por ejemplo, el poder calorífico de la gasolina es 43,9 MJ/Kg, del diésel 42,7 MJ/Kg y del gas natural 44.0 MJ/Kg.

**Tabla 3. 2** Poder calorífico de los componentes de la Biomasa.

Biomasa	Poder calorífico (MJ/Kg)
Residuos sólidos urbanos (R.S.U)	10,4
Cultivos energéticos	41,8
Astilla de madera	20,89
Corteza de pino	20,95
Desechos industriales de madera	19
Paja de trigo	18,94
Caña	18,06
Bagazo	18,09
Cascarilla de arroz	15,58
Aserrín	19,34

**Fuente:** Energía de la Biomasa, Manual técnico, M. Sc. Ing. Carlos Orbegoza & Ing. Roberto Arivilca.

En forma general tomando como medio el valor energético de la biomasa, se ha establecido que 3kg de biomasa es aproximadamente equivalente a 1kg de gasolina.

### **3.2.4 Aplicaciones de la biomasa.**

La diversidad de los biocombustibles obtenidos de la biomasa nos permite plantear diferentes aplicaciones en la industria, actualmente las principales aplicaciones que se ponen en práctica alrededor del mundo son las siguientes:

- **Energía térmica**

La biomasa puede ser una fuente muy importante para generar calor o vapor. El calor es un elemento muy fundamental para la calefacción de hogares, secado de productos agrícolas, generación termoeléctrica, etc.

- **Energía eléctrica.**

La electricidad actualmente es una fuente de energía muy importante para el desarrollo de la humanidad, ya que gran parte del desarrollo tecnológico depende principalmente de dicha energía. Si hoy desaparecieran todas las fuentes de energía eléctrica sin importar el combustible que utilizan, el mundo sería un desastre total y se perderían miles de millones de dólares diariamente. Actualmente las industrias, instituciones públicas y privadas, hogares, negocios, centros educativos, edificios, etc. dependen de ella. Por esta razón hoy en día se está buscando la manera de generar energía eléctrica que de una u otra manera permita proteger al medio ambiente y también no dependan mucho de los combustibles fósiles. En esta línea se encuentra la biomasa que es una de varias opciones para la generación de electricidad ya que es considerada energía limpia o verde.

- **Energía mecánica.**

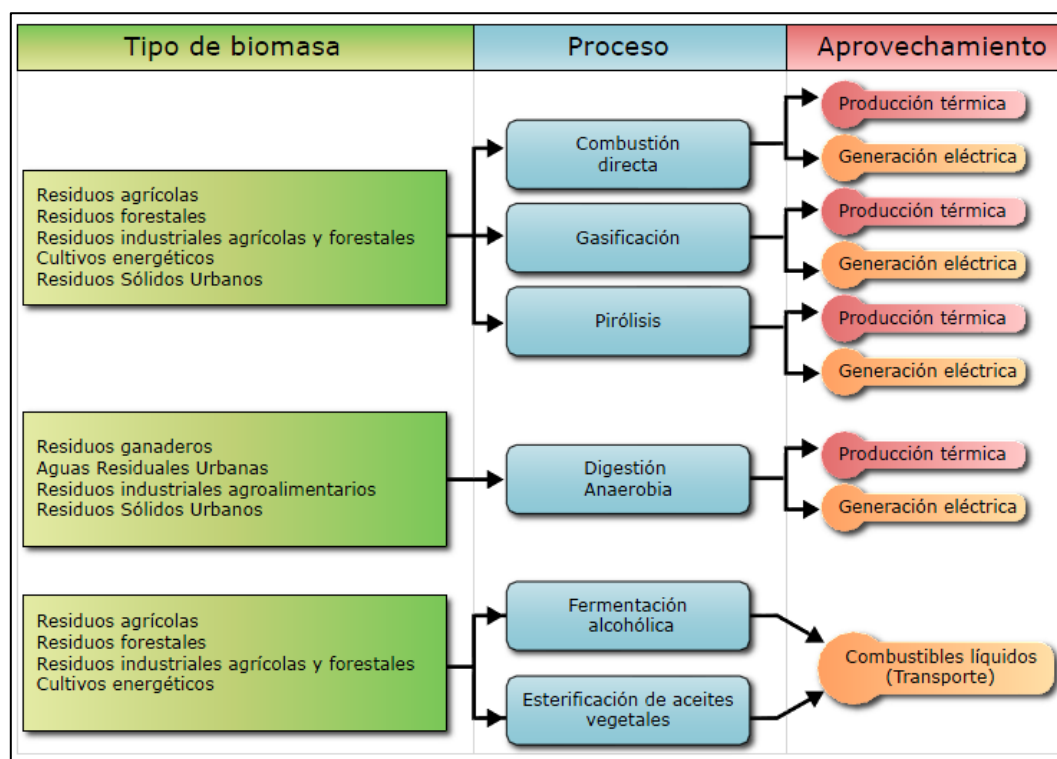
Los biocombustibles provenientes de la biomasa de plantas como la remolacha, Maíz, Sorgo dulce, Caña de azúcar, Patata, Colza, Girasol, Soja, etc. son



biocombustibles que pueden ser mezclados en un cierto porcentaje (generalmente del 5 al 25%) con los combustibles fósiles y ayudar a disminuir la contaminación generada por éstos.

En Ecuador, el gobierno nacional está implementando el plan piloto de biocombustible que se comercializa en parte de las estaciones de servicio de Guayaquil. Este combustible está compuesto por 5% de etanol anhidro y 95% de gasolina normal. Existen otros países como por ejemplo Brasil que es un país que actualmente mezcla la gasolina normal con un 25%<sup>16</sup> de etanol anhidro.

En la Figura 3.2 se muestra que la biomasa después de pasar por un determinado proceso y logrado obtener los diferentes biocombustibles, se puede aplicar en diferentes aéreas.



**Figura 3. 2** Aplicaciones de la biomasa

**Fuente:** Energía de la biomasa y de los residuos sólidos.

<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo18.pdf>

<sup>16</sup> Brasil aumentó el porcentaje de mezcla de etanol en la gasolina, diario hoy, Publicado el 30/1/2013

### **3.3 EXPERIENCIA INTERNACIONAL. [3]**

A nivel mundial existen dos fuentes principales de biomasa como son: la fuente de residuos sólidos urbanos y la de cultivos energéticos.

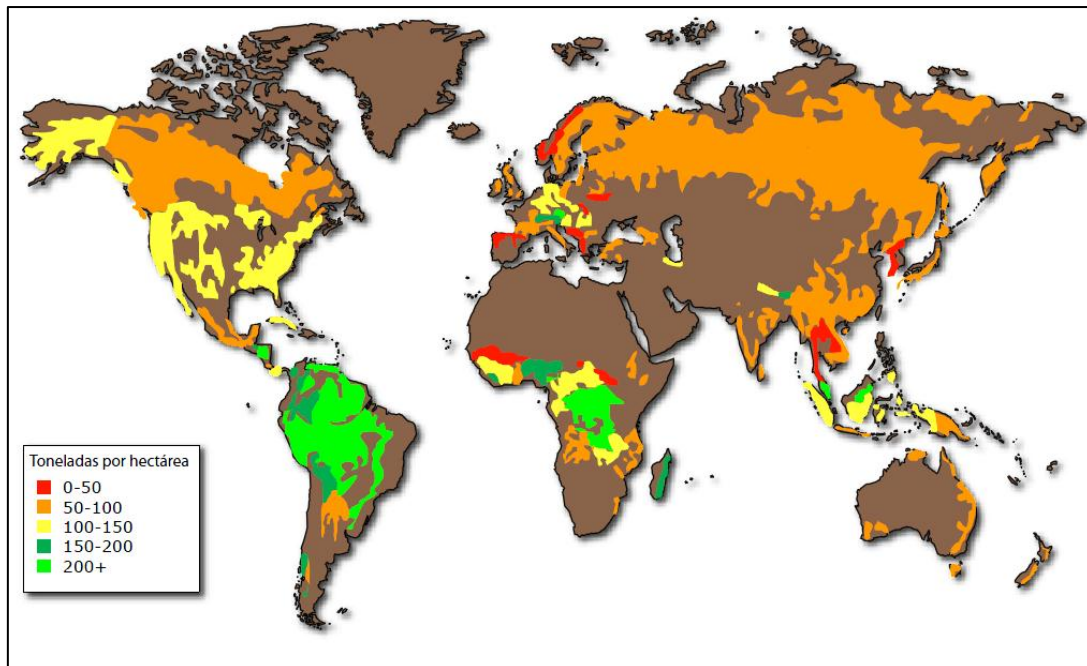
Los principales países que se encuentran a la vanguardia en lo referente a biomasa son: Suecia, Finlandia, Alemania, España y Brasil. El objetivo principal, es generar la energía necesaria para satisfacer la demanda de las industrias y los habitantes, sin descuidar el medio ambiente.

La biomasa a nivel Mundial cubre aproximadamente el 14 % de las necesidades energéticas. Sin embargo, en los países industrializados solo cubre el 3 % de la energía primaria, con excepción de los países nórdicos de Europa en donde se utiliza en mayor porcentaje para la producción de calor en centrales bastantes avanzadas. Los países en vías de desarrollo cubren con biomasa su demanda energética en un 38 % con consumo tradicional de leña. Por ejemplo en los países de África este porcentaje se eleva en un 90 %. Con respecto al uso de la biomasa en el mundo, el 75 % es doméstico tradicional y el 25 % es de uso industrial.

#### **3.3.1 Situación de la biomasa a nivel mundial.**

La biomasa se encuentra muy distribuida sobre la superficie de la Tierra (Figura 3.3) estimándose que la energía anual almacenada por la biomasa es de más de 8 millones de TWh.

Actualmente, solo se utiliza una pequeñísima parte de la energía de la biomasa como combustible. Sin embargo, no existe forma sostenible en la que se pueda hacer uso de la producción entera anual de la biomasa, incluso aunque se quisiera.

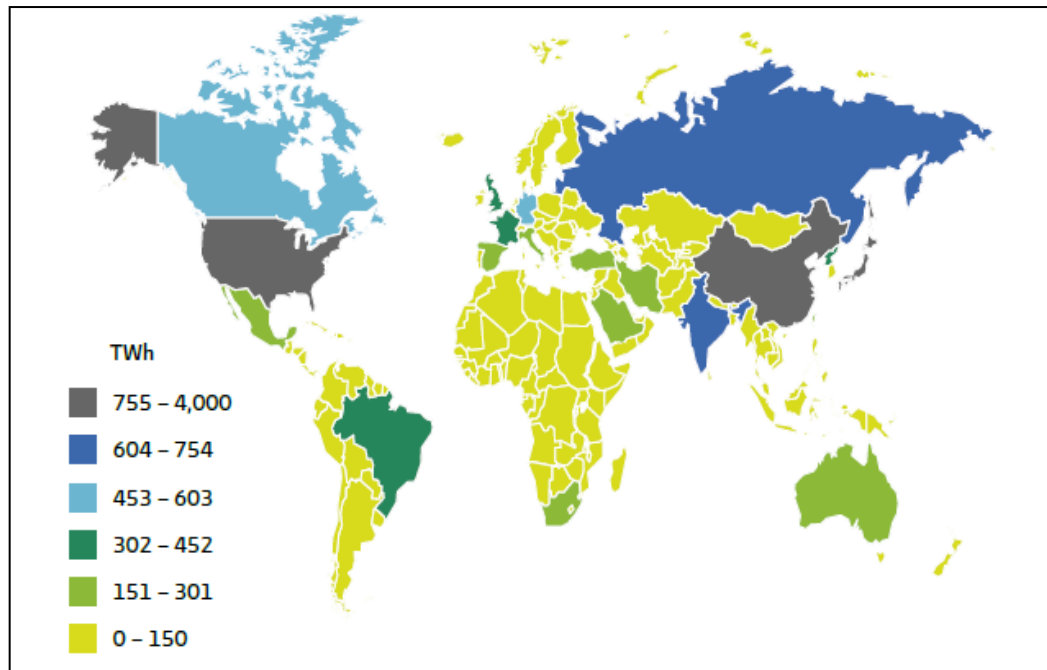


**Figura 3. 3** Biomasa a nivel mundial

**Fuente:** Energía de la biomasa y de los residuos sólidos.

<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo18.pdf>

A modo de comparación podríamos decir que el consumo de energía eléctrica a nivel mundial es mayor en los países industrializados (figura 3.4), que por lo general son países que disponen poca biomasa.



**Figura 3. 4** Consumo de energía eléctrica en el mundo (TWh)

**Fuente:** Prospectiva del sector eléctrico 2012-2016, Ximena Fernández Martínez, Juan Ignacio Navarrete

Barbosa, Guillermo Sánchez Liévano, José Alfredo Ontiveros Montesinos, Fabiola Rodríguez Bolaños, Erika Yazmin Jaime Buenrostro, México 2012

### **3.3.2 Producción y uso de los principales biocombustibles generados por la biomasa a nivel mundial. [4] [5] [6]**

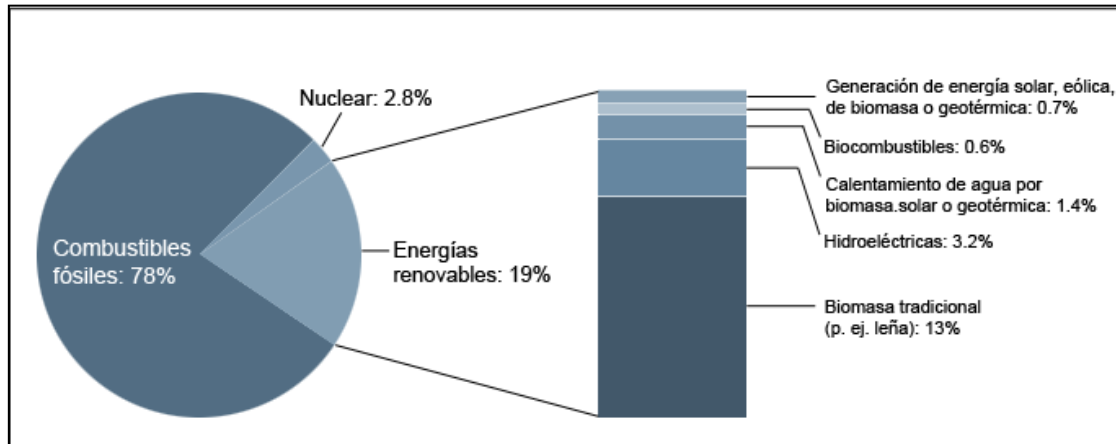
La producción de biocombustibles representa el 1.7 por ciento del consumo mundial de energía, y ésta podría incrementarse hasta alcanzar 20 puntos porcentuales en el 2020.

La mayoría de los hidrocarburos alrededor del mundo son utilizados para el transporte, representan el 27% del consumo de energía, y que aproximadamente para el 2050 se cree que subirá en un 32%.

Siendo esta una razón más en donde los biocombustibles juegan un papel importante, ya que al mismo tiempo disminuirían los gases de efecto invernadero y la dependencia del petróleo.

Actualmente todas las energías renovables juntas proveen alrededor del 19% de la energía mundial. De ellas, la mayor parte está representada por la biomasa

tradicional (principalmente leña: alrededor de 500 millones de familias en los países subdesarrollados la emplean para cocinar y calentarse) y sólo el 0.6% de la energía total proviene de los biocombustibles.



**Figura 3. 5** Energías renovables a nivel mundial, 2008

**Fuente:** <http://www.bioenergeticos.gob.mx/index.php/panorama-internacional/los-biocombustibles-en-el-mundo.html>

Los biocombustibles procedentes de la biomasa que se utilizan mayoritariamente a nivel mundial son los siguientes:

- Biodiesel
- Bioetanol y
- Biogás.

### 3.3.2.1 Biodiesel y Bioetanol.

La producción de biocombustibles a nivel mundial ha crecido exponencialmente en los últimos años. Su desarrollo se ha visto favorecido por la subida del precio del petróleo y las políticas de subvención pública adoptadas por los distintos países para cumplir con las exigencias del Protocolo de Kioto.

El continente americano concentra aproximadamente más del 95% de la producción mundial de bioetanol (básicamente de Brasil y Estados Unidos),

mientras que la producción de biodiesel procede principalmente de la Unión Europea y Estados Unidos.

En la mayoría de países tanto el biodiesel como el bioetanol se aplican generalmente en el sector transporte.

En la Tabla 3.3 se puede observar el ranking de los 25 países productores de biodiesel y bioetanol en millones de litros a nivel mundial.

**Tabla 3. 3** Principales países productores de Biodiesel y Etanol

Etanol			Biodiésel		
País		Millones de litros	País		Millones de litros
1	Estados Unidos	51.415,97	1	Estados Unidos	5.912,17
2	Brasil	26.887,52	2	Alemania	5.047,81
3	China	2.699,48	3	España	5.023,19
4	Francia	1.821,03	4	Indonesia	4.262,31
5	Canadá	1.494,50	5	Brasil	4.160,28
6	India	1.420,92	6	Malasia	4.091,18
7	Polonia	1.079	7	China	3.906,09
8	Alemania	916,97	8	Argentina	3.636,28
9	Tailandia	868,50	9	Francia	2.926,11
10	Jamaica	832,70	10	Tailandia	2.771
11	Trinidad y Tobago	757	11	Italia	2.749,99
12	Indonesia	683,38	12	India	1.715,64
13	España	546	13	Polonia	1.505,05
14	Austria	485	14	Países Bajos	1.124,09
15	Bélgica	485	15	Singapur	988,76
16	Países Bajos	480	16	Austria	982,96
17	Reino Unido	470	17	Reino Unido	970
18	Islas Vírgenes	387,50	18	Bélgica	886,37
19	Colombia	352	19	Grecia	850,26
20	Vietnam	318,11	20	Australia	797,81
21	Australia	292,70	21	Corea del Sur	762,91
22	República Checa	280	22	Portugal	590,92
23	El Salvador	247,10	23	Colombia	584,82
24	Paraguay	237,25	24	Filipinas	478,23
25	Argentina	237,20	25	República Checa	459,77
Total		95.694,83	Total		57.184

**Fuente:** Informe de biocombustibles 2010, Torres y Carrera, Consultores de comunicación.

<http://www.torresycarrera.com/newcorp/wp-content/uploads/2011/04/Informe-Biocombustibles-2010.pdf>

### 3.3.2.2 Producción mundial de biogás

Aunque hoy en día es un actor relativamente menor en el sector de la bioenergía en general, el mercado de biogás se encuentra en la confluencia de una serie de

fuerzas, incluida la creciente demanda de generación distribuida, las regulaciones ambientales más estrictas, y la aceleración de la construcción de la infraestructura de gas natural y los vehículos impulsados por el combustible gaseoso. El biogás está ganando terreno como un portador de energía versátil, con un importante potencial para satisfacer la demanda creciente dentro de los mercados de energía, calor, combustible y productos químicos. Según un nuevo informe de Pike Research, este mercado de rápido crecimiento llegó a los US\$ 17.3 mil millones en ingresos mundiales en 2011, y casi se duplicará para el año 2022, alcanzando los \$ 33.1 mil millones en ese año.<sup>17</sup>

La capacidad mundial instalada de producción es ahora de más de 800 mil millones de pies cúbicos por año, lo que representa cerca de 14.5 giga vatios (GW). Con al menos 11 mil millones de pies cúbicos por año de capacidad de producción estimada en todo el mundo hacia finales de 2012, el gas natural renovable es un segmento cada vez mayor en el paisaje diverso del biogás.

El informe de Pike Research, "Biogás Renovable", analiza la oportunidad de mercado global para la captura de biogás a través de cuatro segmentos industriales clave: residuos sólidos urbanos (RSU), agricultura, industrial y tratamiento de aguas residuales.

### **3.3.2.3 Biogás de Residuos Sólidos Urbanos (R.S.U)**

El biogás generado por los rellenos sanitarios está compuesto aproximadamente de un 50% de gas metano (CH<sub>4</sub>), éste hidrocarburo es un componente principal del gas natural.

El metano juega un rol principal en el calentamiento global derivado del incremento de las actividades humanas en el planeta, tiene su origen en diversas fuentes (agrícola, petróleo y gas, minas, etc.), siendo una de ellas los rellenos

---

<sup>17</sup> Mercado mundial de biogás se duplicará a 33 mil millones de dólares en 2022, GNV Magazine, 21/Junio/2012.  
[http://gnvmagazine.com/noticia-mercado\\_mundial\\_de\\_biogas\\_se\\_duplicara\\_a\\_33\\_mil\\_millones\\_de\\_dolares\\_en\\_2022-2615](http://gnvmagazine.com/noticia-mercado_mundial_de_biogas_se_duplicara_a_33_mil_millones_de_dolares_en_2022-2615)

sanitarios a través del biogás. En la Tabla 3.4 se puede observar la proyección de emisiones de gas metano de los rellenos sanitario municipales por país: 2005-2020 (en MtCO<sub>2</sub>eq)

**Tabla 3. 4** Proyección de producción de biogás a nivel mundial hasta el 2020

PAIS	2005	2010	2015	2020
Estados Unidos de América	130.6	125.4	124.1	123.5
China	46.0	47.5	48.8	49.7
México	33.3	35.5	37.4	39.2
Canadá	25.3	27.7	30.7	33.6
Rusia	34.2	33.2	32.2	31.1
Arabia Saudita	19.4	22.1	24.8	27.5
India	15.9	17.1	18.1	19.1
Brasil	16.6	17.5	18.3	19.0
Ucrania	13.4	14.7	16.4	18.0
Polonia	17.0	17.0	17.0	17.0
Sudáfrica	16.8	16.6	16.4	16.2
Turquía	10.4	11.0	11.6	12.1
Israel	9.7	10.6	11.3	11.9
Australia	8.7	9.4	10.6	11.9
Rep. Dem. del Congo (Kinshasa)	7.4	8.6	9.8	11.2
<b>Resto del Mundo</b>	<b>342.7</b>	<b>346.7</b>	<b>360.5</b>	<b>375.9</b>
<b>Total Mundial</b>	<b>747.4</b>	<b>760.6</b>	<b>788.1</b>	<b>816.9</b>

MtCO<sub>2</sub>eq = millones de toneladas métricas de equivalente de dióxido de carbono

**Fuente:** Guía para el aprovechamiento o quema del biogás en rellenos sanitarios, Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de América, Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza México USA (COCEF), Asociación Internacional de Administración de Ciudades y Condados (ICMA), Latinoamérica, 2011

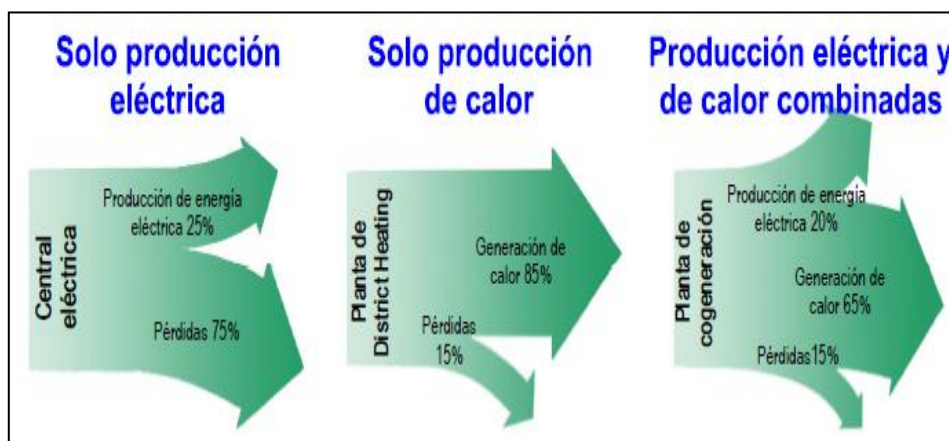
### 3.3.2.4 Biomasa para usos térmicos y eléctricos.

La biomasa es utiliza principalmente en la calefacción residencial, industrial y en la generación de energía eléctrica.

La producción mundial de generación eléctrica con biomasa está creciendo por encima de un 4% anual, estimándose que pueda llegarse a una capacidad instalada en torno a 40 000 MW en 2020. La UE seguirá siendo líder en aumento de capacidad anual instalada a mediano plazo; desde el año 2006 se ha visto un incremento muy notable en países emergentes, principalmente de extremo oriente y Latinoamérica.



En la Figura 3.6 se puede observar los valores porcentuales de la utilización de biomasa en el continente Europeo.



**Figura 3. 6** Uso de la biomasa a nivel Europeo

**Fuente:** Servicios energéticos con biomasa-FORESA

[http://www.foresa.net/energeticos/Biomasa-DistrictHeating-Foresa\\_20101116s.pdf](http://www.foresa.net/energeticos/Biomasa-DistrictHeating-Foresa_20101116s.pdf)

Se entiende por District Heating un sistema de calefacción que utiliza una caldera central u otro recurso térmico para suministrar calor, en forma de agua caliente a varios edificios conectados por una red de tuberías aisladas. El suministro de calor al cliente se realiza mediante un intercambiador de calor realizándose el control de suministro mediante contadores térmicos.

La biomasa es muy importante como combustible y se aplica en las siguientes áreas como:

- Instalaciones industriales que la producen y requieren energía térmica, donde actualmente se consume la mayor parte de la biomasa.
- Instalaciones industriales con demandas de calor prolongadas.
- Instalaciones del sector doméstico y de servicios con elevada centralización, ya que el costo de instalación por unidad de energía producida disminuye significativamente con el tamaño (Biogás).
- Edificios de vivienda con calefacción central.
- Sistemas de calefacciones urbanas o centralizadas o de distrito.

- Centrales generación eléctrica, térmicas y a gas (Biogás) y
- Como combustible vehicular.

Como el tema de interés de nuestro estudio es la biomasa residual para generación de electricidad a partir de la gasificación, se ha visto conveniente ampliar el tema de la biomasa generada por los residuos sólidos urbanos, tema que se desarrollara a continuación.

### 3.3.3 Biomasa de Residuos Sólidos Urbanos (R.S.U)

Los residuos sólidos urbanos son aquéllos generados por las actividades domésticas en los núcleos de población o zonas de influencia como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades diarias (por ejemplo los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques). Proviene también de cualquier otra actividad que se desarrolla dentro de establecimientos o en la vía pública, con características domiciliarias, y los resultantes de las vías y lugares públicos siempre que no sean considerados como residuos de otra índole.<sup>18</sup>

#### 3.3.3.1 Composición de los Residuos Sólidos Urbanos (R.S.U)

El índice de generación y la composición de los residuos sólidos urbanos varían en función de algunos factores principales como son: el nivel económico de la población, su cultura, la actividad desarrollada, la climatología propia de la región, su ubicación geográfica, etc. Dependiendo de estos factores, se consumirán y se emplearán determinados productos que a la larga producirán los correspondientes residuos.

- **Materia orgánica.** Es el principal componente de los residuos en la mayoría de países ya que aporta en mayor porcentaje, sin embargo en los países desarrollados tiende a disminuir. Esta materia está conformado por

---

<sup>18</sup> Residuos sólidos urbanos, Mexico, 2010.

[http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Documents/pdf/cap\\_7\\_residuos.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Documents/pdf/cap_7_residuos.pdf)

restos de alimentos o de actividades vinculadas a la jardinería (podas, rastrillados de campos, cortado del césped, recogida de hojarasca, etc.)

- **Papel y cartón.** Este tipo de residuo presenta un incremento notorio en los últimos años, se encuentra conformado por periódicos, revistas, cajas, embalajes, etc.
- **Textiles.** Las prendas de vestir son el principal componente de este tipo de residuo, debido que cada vez compramos más prendas y las utilizamos durante menos tiempo. Otro factor que hay que mencionar es la mala calidad de los mismos, dentro de este tipo se incluyen por ejemplo ropas, vestidos, elementos decorativos del hogar, etc.
- **Plásticos.-** Los plásticos al contrario del papel no se degradan fácilmente por acción del tiempo, además va creciendo en forma paralela con el desarrollo tecnológico. Este tipo de elemento contiene botellas, bolsas, embalajes, platos, vasos, cubiertos desechables, etc.
- **Vidrio.-** Botellas, frascos diversos, vajilla rota, etc.
- **Metales.-** Latas, botes, etc.
- **Otros.-** cualquier otro residuo que no se incluye en los anteriores

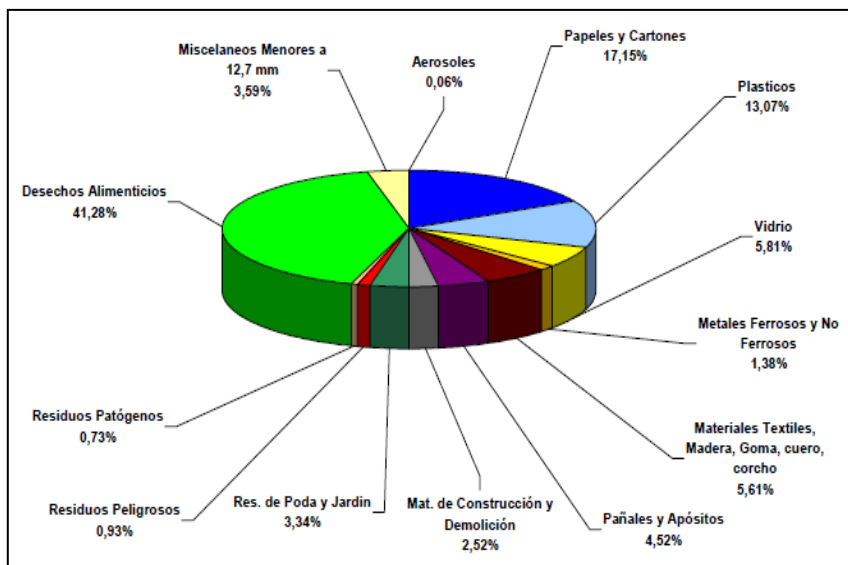


**Figura 3. 7** Residuos sólidos urbanos generados por el hombre

**Fuente:** Revista Consumer,

[http://revista.consumer.es/web/es/20090501/actualidad/tema\\_de\\_portada/74801.php](http://revista.consumer.es/web/es/20090501/actualidad/tema_de_portada/74801.php)

Para tener una idea de cómo se encuentran distribuidos porcentualmente los componentes de los RSU a nivel mundial, se ha colocado dos gráficas, la primera corresponde a la composición de residuos sólidos municipales de la ciudad autónoma de Buenos Aires-Argentina y la segunda del promedio de España, los valores de la primera pueden tener similitud con el resto de países de América Latina y la segunda con los países Europeos.



**Figura 3. 8** Composición física promedio de los RSU de la ciudad autónoma de Buenos Aires-Argentina

**Fuente:** Resumen ejecutivo, ECRSU. [http://www.fi.uba.ar/archivos/resumen\\_ejecutivo\\_ECRSU\\_invierno\\_VF3](http://www.fi.uba.ar/archivos/resumen_ejecutivo_ECRSU_invierno_VF3)



**Figura 3. 9** Valor promedio de los RSU de España

**Fuente:** Los residuos sólidos urbanos.

[http://fabricasdeoxigeno.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=93:los-residuos-solidos-urbanos&catid=35:noticias-generales&Itemid=62](http://fabricasdeoxigeno.com/index.php?option=com_content&view=article&id=93:los-residuos-solidos-urbanos&catid=35:noticias-generales&Itemid=62)

Si observamos detenidamente las gráficas, podemos concluir que los valores de mayor porcentaje de ambas son de residuos orgánicos y de residuos de papel y cartón, estos dos tipos de residuos tienen valores similares (la suma porcentual de la primera grafica es 58,78% y de la segunda 65%), por lo cual se podría decir que ese es el valor medio para la mayoría de países, dependiendo el continente.

### 3.3.3.2 Líquidos y gases generados por los rellenos sanitarios.

Los Rellenos Sanitarios son obras que se utilizan para la disposición controlada de residuos sólidos urbanos, tiene como propósito evitar el riesgo o daño de la salud pública y evitar en parte la contaminación del medio ambiente. En este tipo de obras se utilizan principios de ingeniería: confinación y aislamiento de los residuos sólidos en una área mínima con captación de residuos, cobertura diaria, control de gases, lixiviados y cobertura final.

Uno de los elementos de los rellenos que más cuidado requiere en su gestión es el gas metano. El gas metano, a más de ser un combustible incoloro, es 21 veces más potente que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) con relación al efecto invernadero. Es decir, que si se instala un sistema de captación del biogás y se quema para generar otro tipo de energía como por ejemplo la eléctrica, se puede decir que las emisiones producidas por la quema, es 21 veces menos “contaminante”, por esta razón se pretende aprovechar este componente.

Si comparamos las emisiones generadas por distintas fuentes de combustibles como el carbón, petróleo y gas natural con los emitidos por los R.S.U (Tabla 3.5) se puede observar que las emisiones generadas por los RSU son menores.

**Tabla 3. 5** Emisiones de distintas fuentes de combustibles (en Kg/ MWh)

Combustible	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
RSU	380	0,36	2,45
Carbón	1020	5,90	2,72
Petróleo	758	5,44	1,81
Gas Natural	515	0,05	0,77

**Fuente:** Encuentro Residuos Sólidos & Reciclaje, Paula Estévez Weinstein M.S, 19/Octubre/, 2007

### 3.3.3.3 Energía a partir de R.S.U o W.T.E.

El termino W.T.E son las siglas en inglés de Waste-to-Energy que en español significa, energía obtenida a partir de los residuos sólidos urbanos (RSU).

La W.T.E está considerada dentro de la categoría de la Biomasa debido a que los componentes que forman parte de los residuos son derivados de materia orgánica, en un 70%.<sup>19</sup>

El aprovechamiento de energía de los R.S.U hoy en día se realizan de dos distintas maneras: la primera es por la combustión del biogás generado en los vertederos controlados de R.S.U. y la segunda es mediante el aprovechamiento del poder calorífico propio de los residuos por medio de la combustión directa. De

<sup>19</sup> Encuentro Residuos Sólidos & Reciclaje, Paula Estévez Weinstein M.S, 19/10/2007

la suma de ambos procesos, se deduce claramente la fuente de materia prima tan importante que constituyen los R.S.U.

Para el año 2007 se tenía más de 600 plantas que aprovechaban los residuos para generar energía, en la siguiente tabla podemos observar cómo se encuentran distribuidas las plantas de generación de este tipo de energía a nivel mundial.

**Tabla 3. 6** Plantas generadoras de energía en el año 2007 con R.S.U

CONTINENTE	Nº PLANTAS	POTENCIA (MW)	MILLONES TON/AÑO
AMERICA DEL NORTE	89	3000	29
EUROPA	400	34000	48
ASIA Y RESTO	130	7000	37

Fuente: Encuentro Residuos Sólidos & Reciclaje, Paula Estévez Weinstein M.S 19/Octubre/2007

### 3.4 EL BIOGÁS, FORMACION, COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES.

El biogás se denomina a una mezcla formada por varios gases, entre los cuales, el metano y dióxido de carbono aportan en mayor porcentaje, El biogás es el resultado de la descomposición de la materia orgánica realizada por acción bacteriana en condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno).

#### 3.4.1 Formación:

Para que exista una fuente de biogás, la biomasa del relleno tiene que pasar una descomposición del desecho orgánico conocido como degradación bacteriana, para ello tiene que ir cumpliendo las siguientes etapas:<sup>20</sup>

- Etapa 1. Las bacterias Aeróbicas generan mayormente Dióxido de Carbono y Agua
- Etapa 2. Los procesos de Hidrólisis y Acetogénicos degradan cadenas orgánicas largas, lo cual produce Amonio, Dióxido de Carbono, Hidrogeno, Agua y Calor

<sup>20</sup> Fundamentos de la formación del biogás.ppt, Methane to Markets, Adrian Loening, 2007

- Etapa 3. Las bacterias Metanogénicas utilizan el producto degradado de la Etapa 1 para producir Metano, Dióxido de Carbono
- Etapa 4. Los índices de Acetogénesis / Hidrólisis están en equilibrio con la metanogénesis
- Etapa 5. El sustrato orgánico es agotado y empieza la discontinuación gradual del proceso biológico y el aire reemplaza al biogás dentro del desecho.

### 3.4.2 Composición.

El biogás está compuesto por diferentes gases, entre ellos el gas metano ( $\text{CH}_4$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), son los componentes que participan con mayor porcentaje. La composición del biogás varía de acuerdo a la biomasa utilizada, en la Tabla 3.7 se puede observar los principales componentes del biogás de distintas fuentes.

**Tabla 3. 7** Componentes del biogás en función del sustrato utilizado

<i>Componente</i>	<i>Residuos agrícolas</i>	<i>Lodos de depuradora</i>	<i>Residuos industriales</i>	<i>Gas de vertedero</i>
Metano	50-80%	50-80%	50-70%	45-65%
Dióxido de carbono	30-50%	20-50%	30-50%	34-55%
Agua	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
Hidrógeno	0-2%	0-5%	0-2%	0-1%
Sulfuro de hidrógeno	100-700 ppm	0-1%	0-8%	0,5-100 ppm
Amoniaco	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas
Monóxido de carbono	0-1%	0-1%	0-1%	Trazas
Nitrógeno	0-1%	0-3%	0-1%	0-20%
Oxígeno	0-1%	0-1%	0-1%	0-5%
Compuestos orgánicos	Trazas	Trazas	Trazas	5 ppm*

\* *terpenos, esteres...*

**Fuente:** Situación actual de la producción de biogás y de su aprovechamiento, M<sup>a</sup> José Cuesta Santianes/Francisco Martín Sánchez/Gemma Vicente Crespo/ Susana Villar Fernández, 2007



### 3.4.3 Propiedades:

Como en cualquier otro tipo de gas, algunas de las propiedades características del biogás dependen de la presión, temperatura, humedad del material, tipo de desecho, tamaño de partículas, técnicas de compactación (Rellenos Sanitarios), etc.

Los factores más importantes que caracterizan al biogás son los siguientes:

- El biogás cambia de volumen cuando cambian la presión y la temperatura,
- Cambia el valor calorífico cuando cambian la temperatura, presión y/o contenido de agua, y
- Cambia el contenido de vapor de agua cuando cambian la temperatura y/o la presión.

El **valor calorífico** del biogás es aproximadamente de 5 kWh por metro cúbico. Lo que quiere decir que un metro cúbico de biogás es equivalente a medio litro de combustible diesel.<sup>21</sup>

## 3.5 EXPERIENCIA CON BIOMASA EN EL ECUADOR.

El potencial de biomasa en el país es de gran importancia por su tradición agrícola y ganadera, cuyas actividades generan gran cantidad de desechos que pueden ser aprovechados energéticamente. Normalmente se puede aprovechar los residuos agrícolas como el banano, café, cacao, flores, palmito, maíz, cascarilla de arroz, bagazo de caña de azúcar, etc.

En Ecuador, la biomasa más utilizada para la producción de energía térmica como eléctrica, es el bagazo de la caña de azúcar y el biogás generado por los desechos de animales. Existen otras fuentes de biomasa que son muy poco explotadas, como por ejemplo el tratamiento de los residuos sólidos urbanos con fines energéticos.

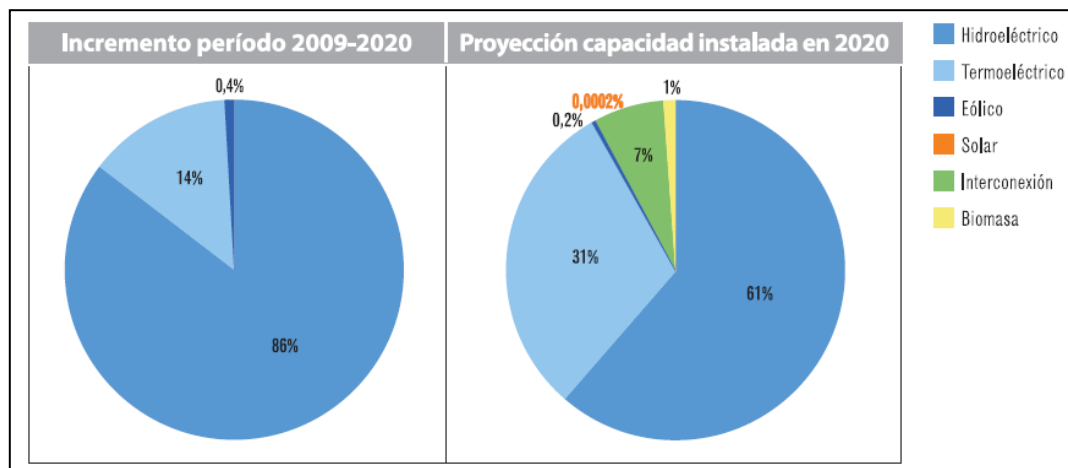
---

<sup>21</sup> Generación y manejo de gases en relleno sanitario  
[http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno\\_sanitario](http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario)

A pesar de que son numerosas las fuentes de biomasa y que su uso puede ser más económico que otro tipo de energía renovable como la solar o fotovoltaica, el país no las ha explotado a gran escala.

Entre las fuentes de energía renovable no convencional que actualmente aportan al S.N.I., se puede mencionar los excedentes de la energía térmica proveniente de la combustión de la biomasa (bagazo de caña), utilizada por los ingenios azucareros, este tipo de energía renovable tiene una capacidad nominal instalada de 101 MW (representa el 1,97 % de la potencia nominal a nivel nacional).

Debido que en los últimos años en Ecuador las energías renovables casi no han sido desarrolladas en su totalidad, el Gobierno ecuatoriano a través del Consejo Nacional de electrificación (CONELEC) y el Ministerio de Energías Renovables (MEER) ha incentivado desde el 2011 la construcción de nuevos proyectos, los mismos que representan actualmente (2013) el 6%<sup>22</sup> del total de energía que consume el país. En la siguiente grafica se puede observar el porcentaje de participación que tendrán las distintas fuentes de energía para el año 2020, cuya capacidad instalada ayudaran a cubrir la demanda energética del país.



**Figura 3. 10** Planificación de incremento de la capacidad instalada de la matriz eléctrica de Ecuador.

**Fuente:** CEDA, Hacia una matriz energética diversificada de Ecuador, Miguel Castro.

<sup>22</sup> Plan maestro de electrificación, 2012- 2021, MEER

### 3.5.1 Industrias que utilizan la biomasa para generar y aportar energía eléctrica al S.N.I.

En el país existen algunas industrias que utilizan la biomasa como fuente de energía eléctrica, dentro de estas industrias tenemos las más importantes (tabla 3.8), las mismas que se encuentran en capacidad de aportar al S.N.I.

**Tabla 3. 8** Producción de energía eléctrica con biomasa.

Central o Interconexión	Año de ingreso	Tipo	Combustible	Potencia Nominal (MW)
San Carlos	2004	Térmica	Bagazo de caña	35,0
Ecudos	2005	Térmica	Bagazo de caña	29,8
Ecoelectric	2007	Térmica	Bagazo de caña	36,5
Total				101,3

Fuente: Plan maestro de electrificación, 2012- 2021, MEER.

### 3.5.2 Proyectos de biomasa en Ecuador [7] [8]

Sin considerar los proyectos de biomasa mencionados anteriormente, en el Ecuador existen otros pequeños proyectos que se han puestos en marcha por empresas públicas o privadas. A continuación vamos a detallar los proyectos impulsados por las distintas empresas.

#### - Corporación para la Investigación Energética (CIE)

La CIE en el tema de bioenergía, se ha convertido en un referente para el país, entre sus principales proyectos desarrollados y futuros se encuentran los siguientes:

- **Planta piloto de biomasa La Concordia**

Este proyecto se desarrolla actualmente en las instalaciones de la estación experimental del INIAP ubicado en el sector de la Concordia, se ejecutó en base a los estudios realizados por la Corporación para la Investigación Energética.

Entre los objetivos que persigue este proyecto se destaca el “Desarrollar, mediante equipos a escala, procesos de carbonización, gasificación,

pirolisis, aglomeración, y briqueteado de residuos deshidratados, como combustibles para la producción de energía”.

- **Producción de biodiesel a partir de Jatropha Curcas**

Desde 2004 la CIE ha investigado las posibilidades agrícolas de sustituir el Aceite de Palma, el Aceite de soja, el sebo de animal, etc. en los procesos de producción biodiesel, han encontrado que la Jatropha Curcas, conocida vulgarmente como “piñón”, una planta nativa del Ecuador, tiene el potencial. A pesar que no existen plantaciones de Jatropha en el Ecuador, han encontrado árboles a lo largo de la costa ecuatoriana. Las semillas de estos árboles han sido procesadas para lograr obtener muestras de aceite de Jatropha y biodiesel. Estas muestras han sido analizadas en laboratorios en Europa y en Ecuador, con excelentes resultados.

La planta piloto se localizaría en la costa ecuatoriana en la provincia de Santa Elena.

- **Proyecto Biodigestores – Nono**

La comunidad de Nono en la provincia de Pichincha, al noroccidente de Quito, es una pequeña comunidad rural dedicada principalmente a la agricultura y ganadería.

El abastecimiento de GLP (gas licuado de petróleo) en la comunidad es escaso, aproximadamente dos veces por mes un camión distribuidor provee los cilindros de gas a la zona.

El proyecto plantea la construcción de tres biodigestores en tres diferentes zonas de la comunidad de Nono: uno en el barrio La Merced, otro en el barrio La Sierra y el tercero en la zona de San Martín.

Con la construcción del proyecto Biodigestores, se espera mejorar la calidad de vida de los pobladores de Nono que aún dependen de la recolección y uso de leña para cocinar y de aquellos que no cuentan con la posibilidad de adquirir la cantidad de abono suficiente para sus sembríos.

Como resultado de ello, se espera generar biogás como una fuente de energía renovable a partir de desechos orgánicos vegetales y animales y obtener además bioabono que puede utilizarse en las comunidades y de

esta manera sustituir o complementar la adición de abonos químicos en los cultivos.

- **Proyecto Biodigestores en Bolívar**

El proyecto BIOD, se desarrolló entre los años 2004 a 2006 y está orientado a dar alternativas viables a algunas poblaciones de la provincia de Bolívar, para el tratamiento de los desechos orgánicos provenientes del ganado mayor y menor con la finalidad de convertirlo en una fuente generadora de energía.

Este proyecto se desarrolló específicamente en las parroquias Santa Fe, Santiago y Asunción ubicadas en la provincia de Bolívar.

- **Producción de azúcar orgánico y bioetanol**

Este proyecto se desarrolla en la Provincia de Pastaza en zonas cercanas a los cantones Pastaza y Mera. Existen aproximadamente 5.000 hectáreas, dentro de las cuales se encuentran dispersas 800 hectáreas cultivadas con caña de azúcar.

La idea de construir un micro ingenio azucarero, es mejorar los cultivos e iniciar un proceso agroindustrial que permita explotar 400 hectáreas de caña para elaboración de azúcar orgánico y 400 hectáreas para producción de etanol.

La CIE promueve el proyecto y pretende instalar un sistema energético sustentable para autoconsumo de esta agroindustria, a partir de la biomasa residual proveniente de la caña y del proceso de industrialización de madera de balsa existente en la zona.

- **Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) [9]**

El ministerio de Electricidad, es el ente rector del sector eléctrico ecuatoriano y de la energía renovable. Esta entidad es la responsable de satisfacer las necesidades de energía eléctrica del país, mediante la formulación de normativa pertinente, planes de desarrollo y políticas sectoriales para el aprovechamiento eficiente de sus recursos.

En cumplimiento de uno de los objetivos estratégicos planteados por el MEER, como el de incrementar la oferta de generación y transmisión eléctrica, el MEER ha visto necesario apoyar a varios proyectos de energía no convencional dentro del cual se encuentra un plan piloto denominado proyecto Piñón-Galápagos.

- **Proyecto Piñón – Galápagos**

El proyecto tiene como objetivo sustituir el diesel por aceite vegetal para la generación eléctrica en la isla Floreana-Archipiélago de Galápagos, a través del desarrollo agroindustrial del piñón existente en el litoral ecuatoriano.

Actualmente la Isla Floreana cuenta con la primera Central de Generación Térmica de 70Kw que tiene como combustible principal el Aceite Vegetal Puro de Piñón, fue inaugurada el 8 de febrero de 2011, una casa de máquinas renovada, sistema de almacenamiento de combustible con 3 tanques de 3.000 galones cada uno y tanque diario de 100 galones y un camión grúa para facilitar el ingreso a la isla de combustibles y otros productos<sup>23</sup>



**Figura 3. 11** Producción de aceite de piñón para plan piloto de generación eléctrica en Galápagos

**Fuente:** Producción de aceite de piñón para plan piloto de generación eléctrica en Galápagos, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER)

<sup>23</sup> Producción de aceite de piñón para plan piloto de generación eléctrica en Galápagos, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER)  
<http://www.energia.gob.ec/direccion-energia-renovable>

- **Carbon Trade Ltd.**

Actualmente Carbon Trade Ltd trabaja como subcontratista de Eastern Research Group en el Programa de Metano a Mercados en Ecuador. Un elemento del programa incluye una cooperación entre la USEPA y el Ministerio de Ambiente de Ecuador para promover el uso del biogás.

Los sitios de relleno sanitarios seleccionados por el Ministerio de Ambiente, y que Carbón Trade ha desarrollado evaluaciones iniciales del potencial del biogás de cada relleno son:

- Relleno de “Pichacay” y “El Valle” en la Ciudad de Cuenca,
- Relleno de “Chabay” en la ciudad de Azogues,
- Relleno de “Las Iguanas” en la ciudad de Guayaquil y
- El relleno municipal de la ciudad Loja.

De estos cinco sitios “Pichacay” y “Las Iguanas” han sido identificados con más detalle para estudios de pre factibilidad.



**Figura 3. 12** Biogás en el relleno sanitario de Pichacay

**Fuente:** US EPA Methane to Markets – Ecuador.  
[http://www.carbontrade.co.uk/current\\_projects.php](http://www.carbontrade.co.uk/current_projects.php)

### **3.6 EXPERIENCIA EN LA PROVINCIA DEL AZUAY**

Como el objetivo de este estudio es generar electricidad a partir del biogás generado por los rellenos sanitarios, se ha visto conveniente estudiar el proyecto que actualmente se encuentran desarrollando las empresas EMAC-EP & BGP Engineers<sup>24</sup>, el mismo que consiste en la construcción de una central de generación eléctrica, que utilizará como fuente de combustible el biogás producido por el relleno sanitario de Pichacay.

#### **3.6.1 Relleno sanitario de Pichacay [10] [11]**

La Empresa de Economía Mixta EMAC EP-BGP ENERGY, cuyo socio mayoritario es la empresa pública municipal EMAC EP, captará el biogás del Relleno Sanitario

<sup>24</sup> BGP Engineers, es una empresa que tiene su sede principal en Holanda, su especialidad es las energías renovables, cambio climático y desarrollo sostenible; ofrecen apoyo técnico, servicios jurídicos, desarrollo e implementación de proyectos. Los proyectos en los que más ha trabajado son: energías renovables, forestales, reciclaje y gestión de residuos e instalaciones industriales.



de Pichacay y lo convertirá en energía eléctrica. La Planta de aprovechamiento de biogás debía entrar en operaciones el primer trimestre del 2013, pero por razones no conocidas todavía no inicia su operación hasta la fecha (Julio/2013).

El proyecto de captación de biogás en el Relleno Sanitario de Pichacay, está ubicado a 21 kilómetros de la ciudad de Cuenca, y se base en los estudios de pre factibilidad desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos a través de “Eastern Research Group, Inc. y Carbon Trade, Ltd.” en el año 2007.

El objetivo del proyecto es contribuir a la reducción del calentamiento global, mediante la captación y destrucción del gas metano existente en el biogás del Relleno Sanitario.

El proyecto prevé la generación de bioelectricidad, con una capacidad de 2MW para aportar a la demanda energética del cantón Cuenca. Eso representa la disminución de la contaminación ambiental de CO<sub>2</sub>, con un equivalente a 14 mil vehículos diarios y el suministro de energía eléctrica a 8.000 familias a través del Sistema Nacional Interconectado<sup>25</sup>.

La Empresa de Economía Mixta captará el biogás mediante pozos perforados, para destruirlo en un equipo de combustión interna, que permita la generación de energía eléctrica. De los estudios realizados, se estima que se podría generar en la primera etapa del proyecto hasta dos megavatios de energía eléctrica. Además se prevé reducir anualmente 75.000 toneladas por año de CO<sub>2</sub>.

---

<sup>25</sup> EMAC inicia proceso de captación del biogás para convertirlo en energía eléctrica, Alcaldía de Cuenca, martes 21 de agosto del 2012  
<http://www.municipalidadcuenca.gov.ec/?q=node/11257>



**Figura 3. 13** Relleno Sanitario de Pichacay

**Fuente:** EMAC EP promueve proyecto de captación de biogás en el Relleno Sanitario de Pichacay.

<http://www.emac.gob.ec/?q=node/420>

El biogás será recolectado en las tres etapas del Relleno Sanitario de “Pichacay”: Norte I, Norte II y Sur; utilizando tecnología moderna que posibilite la destrucción del metano a través de su combustión, y la generación de energía eléctrica limpia y renovable.

EMAC tiene un acuerdo social con la parroquia Santa Ana, en cuyo territorio se localiza el relleno, para depositar los desechos hasta el 2021, hasta ese año, se prevé acumular un total de 2,7 millones de toneladas.

La inversión del proyecto de generación con biogás es de 2 377.438 dólares, cuyo socio mayoritario será EMAC EP y que incluye las obras y equipos para la captación de biogás y la generación de energía eléctrica. Dentro de este valor también están los rubros de costos para el trámite MDL, para el registro del proyecto en las Naciones Unidas a fin de acceder a los Certificados de Reducción de Emisiones de Carbono, CERs.

Los ingresos esperados provienen de la venta de energía eléctrica generada a precios preferenciales, establecidos por el CONELEC, por tratarse de energía

renovable producida por biomasa y por la reducción de los gases de efecto invernadero al amparo del Protocolo de Kioto a través de la comercialización de los CERs.

Como información adicional relevante, el Relleno Sanitario de Pichacay cuenta con certificaciones internacionales ISO 14001 de Gestión Ambiental; ISO 9001 de Calidad y normas OHSAS 18001 en Seguridad y Salud Ocupacional.

### 3.6.1.1 Ingreso de desechos. [12]

En la Tabla 3.9 se puede apreciar el ingreso anual de desecho actual (2001-2006) y pronosticado (2007-2021) <sup>26</sup>. Dicho ingreso contiene 85.3% de desecho doméstico municipal, 6.7% de desecho industrial y 8.0% de desecho inerte.

**Tabla 3. 9** Ingreso de Desecho 2001-2006 (Actual) y 2007 a 2021 (Proyección)

Año	Ingreso Anual (toneladas)
2001	33,262
2002	103,636
2003	106,542
2004	109,247
2005	112,005
2006	114,781
2007	117,600
2008	121,039
2009	123,975
2010	126,963
2011	129,942
2012	132,960
2013	136,658
2014	139,785
2015	142,958
2016	146,129
2017	149,344
2018	153,300
2019	156,625
2020	159,995
2021	163,400
Total	2,680,147

**Fuente:** Methane to Markets, Estudio de Prefactibilidad del Potencial del biogás, Relleno Pichacay, Eastern Research Group, Inc.Y Carbon Trade, Ltd, 7/Octubre/2007

<sup>26</sup> Esta información proviene de un estudio de Pre factibilidad del Potencial del biogás realizado para el Relleno Pichacay, 7 de Octubre, 2007



**Figura 3. 14** Diariamente en el relleno de Pichacay se da tratamiento a unas 400 toneladas de desechos.

**Fuente:** Diario el tiempo, Proyección para energía renovable con desechos, 13/Febrero/2013.

<http://www.eltiempo.com.ec/noticias-cuenca/90702-proyecto-para-energa-a-renovable-con-desechos/>

### 3.6.1.2 Gas [12]

Con base en el estudio antes mencionado, se conoce que actualmente el biogás se escapa del sitio de relleno por medio de columnas de chimeneas de gas pasivo (aproximadamente 10 chimeneas). Estas chimeneas de gas pasivo están construidas con gaviones de malla hexagonal rellenos con piedra bola y generalmente no contienen tubos, son construidas desde la base del sitio. Aproximadamente seis de las chimeneas tienen tubos de hierro galvanizado perforado de pequeña longitud con un quemador de encendido manual en la parte superior. Collares de concreto han sido construidos en la superficie para soportar los quemadores y varios de estos quemaban gas.

Los autores del estudio han tomado algunas medidas de la concentración de gas en varias ubicaciones durante la visita inicial que han realizado al sitio, obteniendo como record máximo de concentraciones de metano de 54.4 % v/v<sup>27</sup> y el más bajo de 25.7% v/v, tomada en una chimenea de gas pasivo de 5.0 m de profundidad.

---

<sup>27</sup> %v/v Es la cantidad de volumen de una determinada sustancia que hay en la disolución respecto a la

También han tomado mediciones del flujo en las chimeneas de gas pasivo, la cuales tenían puntos apropiados de medida. Sin embargo, notaron que el diámetro de la mayoría de las chimeneas de gas pasivo era grande, dando como resultado una velocidad del gas baja, incrementando cualquier error en las mediciones. El ritmo más alto del flujo pasivo (correcto para la altitud) ha sido de 5.2 Nm<sup>3</sup>/hr<sup>28</sup> a 54.5% v/v metano, con un promedio de 2.85 Nm<sup>3</sup>/hr.



**Figura 3. 15** En el relleno sanitario de Pichacay. El empleado Luis Zhingre revisa uno de los tubos de la salida del gas

**Fuente:** Diario EL COMERCIO, Cuenca producirá energía con el gas de su relleno sanitario, Lineida Castillo, martes 04/Septiembre/2012  
[http://www.elcomercio.com/pais/Cuenca-producira-energia-relleno-sanitario\\_0\\_767323421.html](http://www.elcomercio.com/pais/Cuenca-producira-energia-relleno-sanitario_0_767323421.html)

### 3.6.1.3 Generación de energía eléctrica [12]

La energía eléctrica puede ser producida por una variedad de tecnologías. La mayoría de proyectos de energía de biogás en rellenos usa motores de combustión interna, con capacidad de 1.0 megavatio (MW) típicamente, mientras que proyectos relativamente mayores usan las turbinas de gas convencionales que producen 10 MW.

---

cantidad de volumen total de la muestra

<sup>28</sup> Nm<sup>3</sup>/hr, significa "Normal metro cubico por hora" que es la unidad de medida del caudal o flujo del biogás medido en condiciones normales de presión y temperatura (1atm, 0°C)

La tecnología de micro turbina recientemente desarrollada, ha sido utilizada por pequeños proyectos de biogás de relleno, ya que se encuentra dentro del rango de 50 a 250 kilovatios, ofreciendo bajas emisiones y bajos costos de mantenimiento. Sin embargo, las micro turbinas tienen baja eficiencia térmica en comparación a los motores de combustión interna.

De la predicción de gas disponible en el Sitio del Relleno Pichacay, se estima que allí habrá suficiente gas para operar un proyecto de generación de energía basado en motores de combustión interna. Esto se usará para suministrar energía a los servicios auxiliares de la casa de máquinas, demanda energética que requiere las operaciones del relleno, como también proveer energía de consumo local al sitio. La cantidad estimada de gas disponible en el sitio Pichacay, es actualmente suficiente para soportar a un relleno de biogás de tamaño mediano, con un motor de combustión interna de aproximadamente 1MW. Esta capacidad crecerá con los años, debido al incremento de desechos que lleguen al sitio.

Basado en la cantidad estimada de biogás recuperable del Relleno Pichacay, la Tabla 3.10 muestra la capacidad eléctrica disponible generada en el sitio. La energía exportada será menos que la capacidad de los motores, ya que la energía es requerida para operar el equipo de suministro y el equipo enfriador del biogás del relleno. Estas cargas, cuentan con un 4 y un 6 por ciento del producto de los generadores.



**Tabla 3. 10** Proyección de la capacidad de generación

Año	Promedio m <sup>3</sup> /hr Disponibile @ 50% CH <sub>4</sub>	Capacidad en Bruto kW	Capacidad Neta kW	Exportado MWH <sup>1</sup> @ 5% carga parasita
2007	504	944	896	6,671
2008	582	1,090	1,035	7,706
2009	656	1,229	1,167	8,689
2010	728	1,363	1,294	9,635
2011	797	1,493	1,418	10,558
2012	864	1,618	1,537	11,444
2013	929	1,740	1,653	12,308
2014	992	1,858	1,765	13,142
2015	1,054	1,974	1,875	13,961
2016	1,115	2,089	1,984	14,772
2017	1,174	2,199	2,089	15,554
2018	1,232	2,308	2,192	16,321
2019	1,290	2,416	2,295	17,088
2020	1,348	2,525	2,398	17,855
2021	1,404	2,630	2,498	18,600
2022	1,434	2,686	2,551	18,994
2023	1,339	2,508	2,382	17,736
2024	1,229	2,302	2,186	16,276
2025	1,132	2,120	2,014	14,996
2026	1,045	1,957	1,859	13,842
2027	967	1,811	1,720	12,807

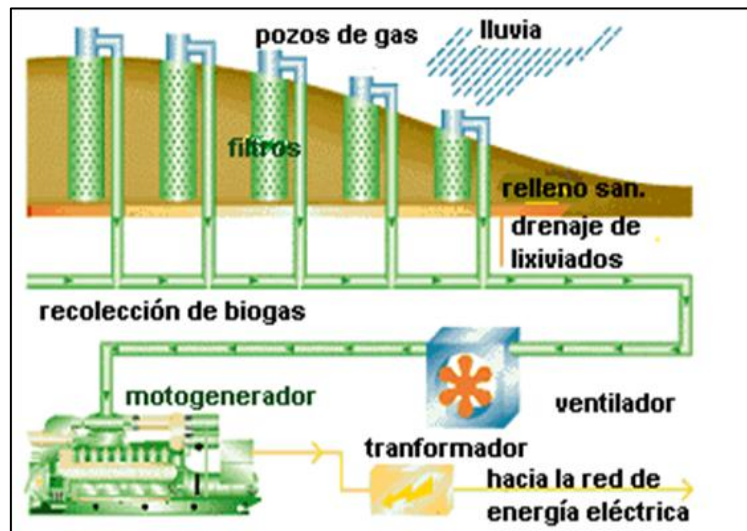
<sup>1</sup> Asumiendo que la capacidad instalada es suficiente para la utilización de todo el biogás del relleno disponible.

**Fuente:** Methane to Markets, Estudio de Prefactibilidad del Potencial del biogás, Relleno Pichacay, Eastern Research Group, Inc.Y Carbon Trade Ltd, 7/ Octubre/2007

Las operaciones de los motores de combustión interna se verán afectadas por la altitud a la cual se encuentra ubicado el Relleno Pichacay, debido que a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar se presenta una reducción de la densidad del aire. Cuando un motor de gas opera en alturas superiores a los 500 msnm, la eficiencia de dicho motor se verá afectado entre 1% a 1,5% por cada 100 metros adicionales. El uso de turbocompresores extra grandes puede reducir este efecto, sin embargo, algún devalúo es de esperarse con una altitud de 2607 m en el sitio.

La figura 3.17 muestra el sistema de extracción, conducción y quema del biogás; cuyos procesos son necesarios para producir energía eléctrica.

En el capítulo siguiente se detalla las características principales del relleno analizado en esta investigación y su potencial aprovechamiento energético.



**Figura 3. 16** Proceso de aprovechamiento de del biogás de relleno

**Fuente:** Ingeniería en Sistemas Energéticos y Ambientales (I.S.E.A)

[http://isea.webcindario.com/index\\_archivos/biomasa.htm](http://isea.webcindario.com/index_archivos/biomasa.htm)

### 3.7 REFERENCIAS:

- [1] <http://usuarios.multimania.es/biodieseltr/hobbies0.html>
- [2] Quemador de biomasa / Sergio Pizarro/ 1ª Edición/2005
- [3] Plantas de biomasa-Natalia Fernández castaño  
<http://limpiezastecnicasindustriales.com/plantasdebiomasa.pdf>
- [4] <http://www.biodieselpain.com/2008/04/08/biocombustibles-17-del-consumo-mundial-de-energeticos/>
- [5] Cultivos energéticos para biocombustibles, Federico José Ossa Basañe  
<http://www.imd.uncu.edu.ar/upload/cultivos-energeticos-final.pdf>
- [6] <http://www.bioenergeticos.gob.mx/index.php/panorama-internacional/los-biocombustibles-en-el-mundo.html>



- [7]** Corporación para la Investigación Energética. (C.I.E)
- [8]** Carbon Trade Ltda, Oficina de proyectos de cambio climático Perú-Ecuador,  
[www.Carbontrade.co.uk](http://www.Carbontrade.co.uk)
- [9]** Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER)  
[www.energia.gob.ec](http://www.energia.gob.ec)
- [10]** EMAC inicia proceso de captación del biogás para convertirlo en energía eléctrica, Alcaldía de Cuenca, martes 21 de agosto del 2012  
[www.municipalidadcuenca.gov.ec](http://www.municipalidadcuenca.gov.ec)
- [11]** EMAC EP promueve proyecto de captación de biogás en el Relleno Sanitario de Pichacay.  
[www.emac.gob.ec](http://www.emac.gob.ec)
- [12]** Methane to Markets, Estudio de Prefactibilidad del Potencial del biogás, Relleno Pichacay, Eastern Research Group, Inc.Y Carbon Trade, Ltd/ 7 de Octubre, 2007

## **CAPÍTULO 4**

### **FUENTE DE BIOMASA A UTILIZAR**

#### **4.1 INTRODUCCIÓN**

La generación de desechos sólidos a nivel mundial es una actividad diaria de los seres humanos que es imposible evitar. Esto incluye los países en vías de desarrollo, como es el caso de Ecuador. En la mayoría de los cantones ecuatorianos ha sido de gran preocupación para los municipios, ministerios y organismos competentes la gestión de los residuos sólidos, debido que al pasar de los años sus volúmenes se han incrementado considerablemente; ya sea, por el incremento poblacional o por el continuo cambio de estilo de vida de sus habitantes.

Históricamente en el Ecuador la gran parte de los cantones no han realizado un buen manejo de los desechos sólidos, esto ha generado malestar en sus habitantes, ya que los residuos son considerados como: causantes de daños en la salud de los habitantes, fuente potencial de malos olores, degradación estética del paisaje natural, fuente de contaminación del suelo, aire y agua, etc. Actualmente se busca mejorar la situación, en varios cantones del país se construyen rellenos sanitarios que ayuden a controlar o manejar de una manera más adecuada los residuos, particularmente lixiviados y gases generados por la descomposición de desechos orgánicos.

#### **4.2 INFORMACIÓN GENERAL [1] [2].**

En esta sección se presenta una breve reseña del proyecto y el lugar de estudio planteado en la presente tesis; esto permitirá familiarizarse un poco mas con las características principales y condiciones actuales del sitio, posteriormente, se

analizará la infraestructura desarrollada en el lugar y se realizará un estudio de la biomasa existente en el sitio para la producción de biogás. Finalmente se determinará la generación y recuperación actual y futura del biogás.

#### **4.2.1 Creación de la Empresa EMMAICJ-EP [1]**

El 13 de junio del 2007, se suscribe el Convenio entre el Instituto de Promoción y Apoyo al Desarrollo IPADE y el Gobierno Municipal de Girón para la ejecución del proyecto “Fortalecimiento de los Municipios de Girón, San Fernando y Santa Isabel de la Región Cañari mediante la creación de una Mancomunidad para la Gestión Integral de Residuos Sólidos”, siendo la Municipalidad de Girón la que actúa como contraparte administrativa.

El proyecto tiene como finalidad promover el bienestar ambiental y el desarrollo social de la zona, a través de la gestión integral de los residuos sólidos en los cantones de Girón y Santa Isabel. Cuenta con el financiamiento de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), a través de IPADE y tiene el apoyo decidido del Proyecto de Fortalecimiento de los Municipios Indígenas Alternativos (FORMIA), el Consejo de Desarrollo de las Nacionalidades y Pueblos del Ecuador (CODENPE), el Fondo Extremeño Local de Cooperación al Desarrollo (FELCODE) y el Ministerio de Inclusión Económica y Social a través del PRODER.

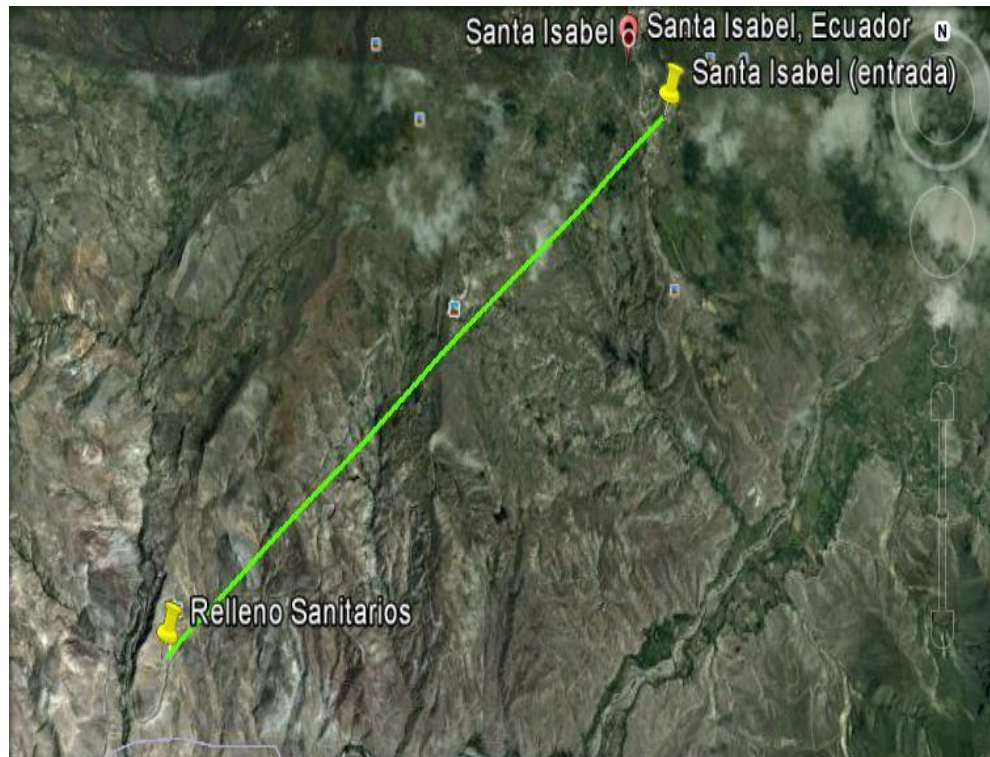
Finalmente el 20 de mayo del 2008 se constituye ya la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral de la Cuenca del Jubones (EMMAICJ), como entidad autónoma de las dos municipalidades, con personería jurídica propia, con independencia técnica, administrativa, financiera y patrimonial, regida por la Ordenanza de constitución de la Empresa.

#### **4.2.2 Ubicación y acceso al relleno**

Los rellenos sanitarios o cualquier depósito de basura siempre se encuentran en lugares lejanos a los puntos donde ésta se genera, por ejemplo; parroquias, industrias, ciudades, etc. La razón principal es la de evitar los malos olores y prevenir enfermedades de sus habitantes o trabajadores. En el Ecuador existen varios ejemplos que corroboran lo expuesto, como es el caso de los rellenos de Zámbriza (Quito), Las Iguanas (Guayaquil) o Pichacay (Cuenca). Actualmente, a más de las ciudades grandes, varios cantones, individualmente o mancomunados, están gestionando técnicamente sus residuos.

##### **4.2.2.1 Ubicación del relleno sanitario.**

El Centro de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos de los cantones de Santa Isabel y Girón se encuentra localizado en la provincia del Azuay, a 12 km hacia el sureste de la ciudad de Santa Isabel, y, a 84 Km al suroeste de la ciudad de Cuenca; específicamente en una zona llamada Minas de Huascachaca, sector Ingapirca. Sus coordenadas geográficas son: 79° 22'29" W, 03° 19' 40" S; 79° 22' 33"W, 03° 19' 23" S.



**Figura 4. 1** Mapa del sitio

Fuente: Google Earth

#### 4.2.2.2 Superficie total del terreno

El área total del proyecto del Centro de Gestión de Residuos Sólidos en Huascachaca, inicialmente abarcaba alrededor de 10,14 hectáreas; con un área de influencia directa de 500 m alrededor de la obra e influencia indirecta de 1000m alrededor de la obra. Actualmente cuenta con cerca de 50 hectáreas y se pretende ampliar 50 hectáreas más, ya que existe un convenio con la cooperativa Dandan<sup>29</sup>, en el cual consta como mediador el municipio de Santa Isabel.

El conocimiento del área total del terreno es de vital importancia, ya que es el sitio en donde finalmente se depositan los desechos sólidos, y por ende concentra la mayor parte de información para el desarrollo de los capítulos subsiguientes de la tesis.

---

<sup>29</sup> La cooperativa Dandan es una pequeña población, 100% agrícola, esta cooperativa es dueña de los terrenos en el cual se encuentra emplazado actualmente el relleno sanitario.

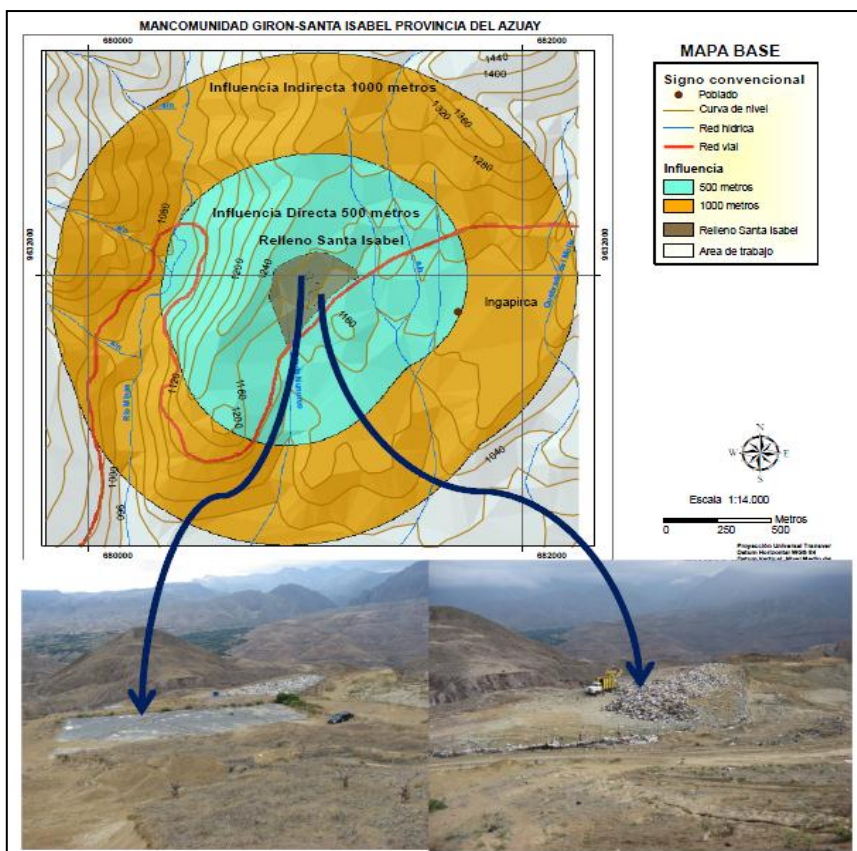


**Figura 4. 2** Centro de Gestión de Residuos Sólidos “Minas de Huascachaca”  
**Fuente:** Elaboración propia

#### **4.2.2.3 Características del sitio del proyecto.**

La zona del proyecto posee características de relieve moderado, con paisajes naturales desérticos sobre suelos desnudos con escasa vegetación o vegetación espinosa muy escasa, de clima cálido seco, la precipitación es muy escasa y en contraste persisten durante la mayor parte del año temperaturas muy altas.





**Figura 4. 3** Mapa base del área de estudio y su alcance.  
Fuente: Equipo Consultor UNL 2009

#### 4.2.2.4 Vías de acceso

Por las inmediaciones del relleno pasa la carretera Cuenca - Girón - Pasaje, esta carretera es de mucha importancia para la movilización de los camiones que transportan los desechos hacia el centro de gestión desde los distintos cantones (Santa Isabel, Girón, San Fernando, Nabón, Pucará y Sevilla de Oro) y desde el campamento de la Hidroeléctrica Minas-San Francisco. La carretera se encuentra en perfecto estado; está asfaltada y tiene una señalización adecuada.

El relleno sanitario se encuentra aproximadamente a unos 400 m desde la carretera principal. Para ingresar al sitio se hace uso de una carretera secundaria de aproximadamente 7m de ancho. Para los próximos años se pretende mejorar la vía de ingreso al relleno, debido que en épocas de invierno la vía se vuelve resbaladiza por las características propias del terreno.



**Figura 4. 4** Entrada al centro de Gestión de Residuos Sólidos

Fuente: Elaboración Propia

#### **4.2.3 Datos climáticos.**

Las características climáticas fundamentales que se tomarán en cuenta para el presente estudio, son obtenidas de la fuente [2], citada en las referencias del presente capítulo; entre ellas tenemos: temperatura, precipitación, humedad atmosférica, dirección y velocidad del viento, insolación, evaporación, etc. Estas características intervienen mucho para la generación del biogás por lo cual no es conveniente que sean desapercibidas.

##### **4.2.3.1 Temperatura estación base**

La temperatura media anual del sitio es aproximadamente de 19.5°C, presentando un comportamiento isotérmico. Los meses más fríos corresponden a: enero y febrero con 18.8 y 19.0°C, respectivamente, mientras que el mes más cálidos son agosto y septiembre con 20.0 y 20.3°C, respectivamente.



#### 4.2.3.2 Temperatura área de estudio

Los datos de temperatura media mensual y anual fueron generados mediante las Isotermas, utilizando la ecuación térmica regional, relación conocida como gradiente térmico, que se basa en estudios de correlación temperatura-altitud<sup>30</sup>.  
(1)

$$Y = a + b * X$$

$$Y = 25,82 + (0,004) * 1145$$

Dónde:

- Y = valor a generar
- X = altitud del punto considerado
- a, b = constantes de la ecuación

De los resultados se desprende que, la temperatura media anual es de 20.5°C, caracterizada por un régimen estacional bastante homogéneo. La oscilación térmica es de 1.6°C entre el mes más cálido agosto con 21.3°C y el mes más frío enero con 19.7°C.

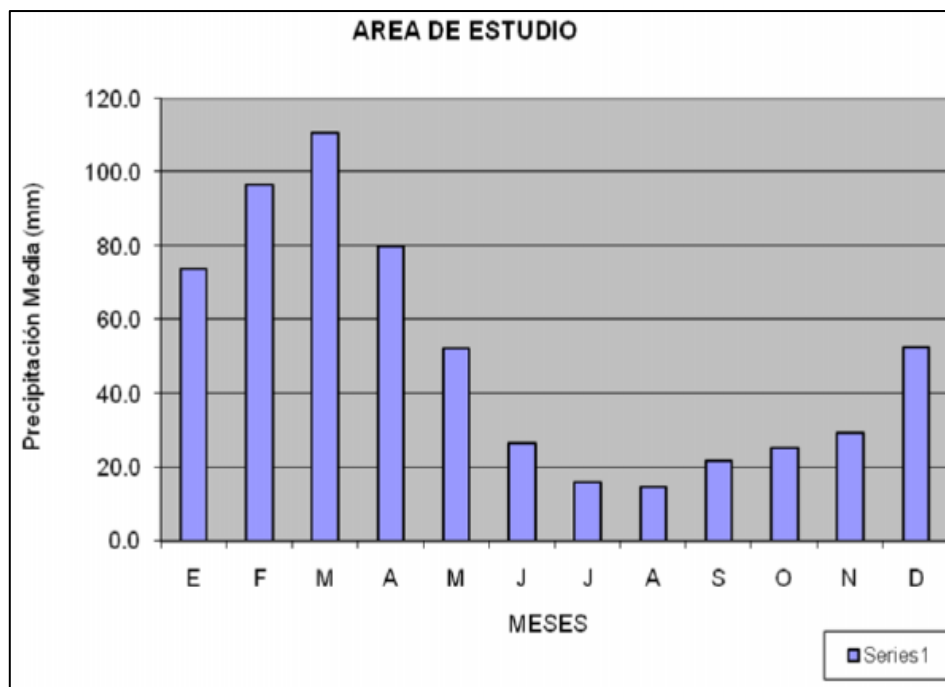
#### 4.2.3.3 Precipitaciones

Las precipitaciones presentes en el sitio tienen un valor normal anual de 572.1 mm, siendo el mes de marzo el que presenta el mayor valor (105.4 mm), los meses de menor precipitación son julio con (15.2 mm) y agosto (14.1 mm). La precipitación tiene un comportamiento bimodal, la misma que presenta dos picos lluviosos, el primero de enero a abril con un valor acumulado de 344.3 mm y el segundo de mayo a diciembre con un valor acumulado de 227.8 mm.

La precipitación máxima en 24 horas en la serie analizada para la estación base es de 41.2 mm.

---

<sup>30</sup> Equipo Consultor, UNL, 2009.



**Figura 4. 5** Precipitación mensual del área en estudio

Fuente: Equipo Consultor UNL. Estación Meteorológica la Argelia 2009.

La precipitación media anual generada es de 600.2 mm, el mes de abril es el que registra la máxima precipitación de 110.6 mm., mientras que los meses de julio y agosto presentan (16.0 y 14.8mm), los mismos que son considerados como los más secos del año.

#### 4.2.3.4 Humedad atmosférica.

Este parámetro presenta una media anual de 76%, presentando mínimas variaciones tanto mensuales como anuales, con un rango entre 82% que corresponde a los meses de enero-abril que son identificados como los meses más húmedos del año y 66% que corresponde al mes de agosto considerado como el mes más seco del año.

#### 4.2.3.5 Vientos.

Del análisis de los registros de viento de la estación base, se concluye que la zona está afectada por vientos que tienen velocidades moderadas a débiles; así lo

ratifica el valor 2.0 m/s, que corresponde a la velocidad media normal anual, el mes con mayor velocidad del viento en el año es: julio con 3.0 m/s.

Durante todos los meses del año, el patrón de circulación de los vientos es del este (E).

#### **4.2.3.6 Nubosidad.**

La nubosidad representa la cantidad en octavos de cielo cubierto en el sitio de observación, por lo tanto tienen estrecha relación inversa, a mayor nubosidad menor brillo solar. Esta característica limitante debe tomarse en cuenta para estudios y planificaciones. La nubosidad media es de 6 octavos y que varía mensualmente entre 6 a 7 octavos, observándose claramente la variación estacional, en donde el período de menor cantidad de nubes está definido por los meses de enero-agosto.

#### **4.2.3.7 Evaporación.**

La serie de evaporación, cuenta con una media anual de 1298.3 mm, la curva de variación mensual presenta un mínimo en el mes de abril con (69.2 mm), para luego subir hasta un máximo en el mes de agosto (163.6 mm), a partir del cual decrece hasta lograr su punto bajo, y de esta manera completar el ciclo.

### **4.3 INFRAESTRUCTURA [1].**

Actualmente el Centro de Gestión de Residuos Sólidos, cuenta con varias obras civiles, siendo estas muy importantes para el manejo adecuado de todo tipo de residuos provenientes de los Cantones antes mencionados. A continuación detallaremos cada uno de ellas.

#### **4.3.1 Centro de Clasificación de material inorgánico**

Toda la basura colocada en los tachos azules en los distintos cantones son enviadas al relleno y posteriormente al centro de clasificación para luego separar el Plástico (de distintos tipos), papel, cartón, vidrio y lata. Una vez realizado este

proceso son prensados y enviados a las distintas recicladoras, para que inicien un nuevo ciclo de vida.



**Figura 4. 6** Centro de gestión de residuos sólidos  
Fuente: EMMAICJ-EP

#### **4.3.2 Centro de Compostaje o elaboración de abono**

A este sitio llega la basura orgánica, que en su mayor parte proviene de los domicilios, mercados y restaurants, para luego transformarlo en abono orgánico que será distribuido a las comunidades, principalmente a la comunidad de Dandan que lleva el 50% para sus cultivos.



**Figura 4. 7** Centro de Compostaje

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.3 Relleno Sanitario.

El relleno es una celda cubierta en el fondo con geomembrana, esto para evitar la contaminación del terreno y de las fuentes de agua debido a la filtración de lixiviados. Una vez realizada esta obra de ingeniería se procede a depositar todos los desechos, tanto orgánicos e inorgánicos que ya no se puede reutilizar, para luego ser cubiertos con tierra para evitar la contaminación de la atmosfera y de los sectores aledaños provocado por los malos olores y el desplazamiento de papel y plásticos debido al viento.

El relleno consta de tres terrazas, la primera una capacidad de recepción de basura de **11.306m<sup>3</sup>**, la vida útil de esta terraza ha sido aproximadamente de 4 años, actualmente se encuentra fuera de funcionamiento y cubierto con vegetación; la segunda tiene una capacidad de **22.506 m<sup>3</sup>**, actualmente se encuentra sobrepasando su nivel de capacidad lo que demuestra que está muy

próxima a terminar su vida útil; la tercera terraza tiene una capacidad de recepción de **36.583 m<sup>3</sup>**.

Acumulando la capacidad de recepción de las tres terrazas se obtiene un total de **70395 m<sup>3</sup>**, de conformidad con las proyecciones de la demanda del servicio se prevé alcanzar una vida útil de al menos 19 años sin contar con los asentamientos de la basura ya madura lo que influye en el volumen total del relleno, por lo que la vida útil del sitio superaría los 20 años.

El material utilizado para cubrir la basura diariamente, consta de una capa de tierra de 20cm de espesor. Este material proviene de las mismas excavaciones realizadas por la conformación del suelo del fondo del relleno y del interior del C.G.R.S.



**Figura 4. 8** Relleno Sanitario de Minas de Huascachaca  
**Fuente:** Elaboración propia



#### **4.3.4 Ducto de gases**

Los ductos para desfogue de gases son de vital importancia ya que permiten la salida del biogás generado en el interior del relleno sanitario; están contruidos con pingos, malla de cerramiento, material pétreo y en el centro va colocado un tubo de pvc de aproximadamente 4" de diámetro, el mismo que se encuentra perforado alrededor de su perímetro. Los ductos de gases están contruidos y conectados en el fondo a los drenes de lixiviados para permitir la salida de los gases y aprovecharlos como canales de escurrimiento de los lixiviados hacia los drenes del fondo, tienen aproximadamente 0.30m de ancho por 1m de alto al momento de iniciar el funcionamiento del relleno, su altura deberá ir incrementando conforme se vaya depositando la basura.

Por cada celda del relleno existen entre siete y ocho ductos de gases, lo que quiere decir que en el peor de los casos tenemos 21 ductos de gases, cada uno de aproximadamente 8m de altura final. Al momento en las celdas que han terminado su vida útil, los ductos de gases no se pueden visualizar, debido que están cubiertos por la capa de tierra que ha sido depositado después de cumplir su vida útil.



**Figura 4. 9** Ducto de salida de biogás  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 4. 10** Ducto de salida de biogás  
Fuente: Elaboración propia



#### 4.3.5 Celda de Seguridad para los residuos tóxicos y peligrosos.

En este lugar se depositan los desechos tóxicos y hospitalarios. La existencia de esta celda, evita que el suelo y el agua se contaminen, debido a que la misma cuenta con doble capa de geomembrana lo que impide el paso de elementos nocivos hacia la tierra y potencialmente al agua.



**Figura 4. 11** Celda de seguridad para los residuos tóxicos y peligrosos.  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.6 Depósito para lixiviados provenientes del Relleno sanitario.

Aquí se recibe los líquidos que se generan desde el Relleno Sanitario (lixiviados), los mismos que son tratados de una manera adecuada para no contaminar al medio ambiente. Cuando el depósito se llena se bombea hacia el relleno para recircular y permitir que se evapore el agua.

#### 4.3.7 Bodega de herramientas

Esta bodega actualmente sirve para dar facilidades de trabajo al personal que desarrollará sus actividades diarias en el relleno sanitario, consta aproximadamente de 45 m<sup>2</sup>



**Figura 4. 12** Bodega de herramientas

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.8 Cerramiento perimetral

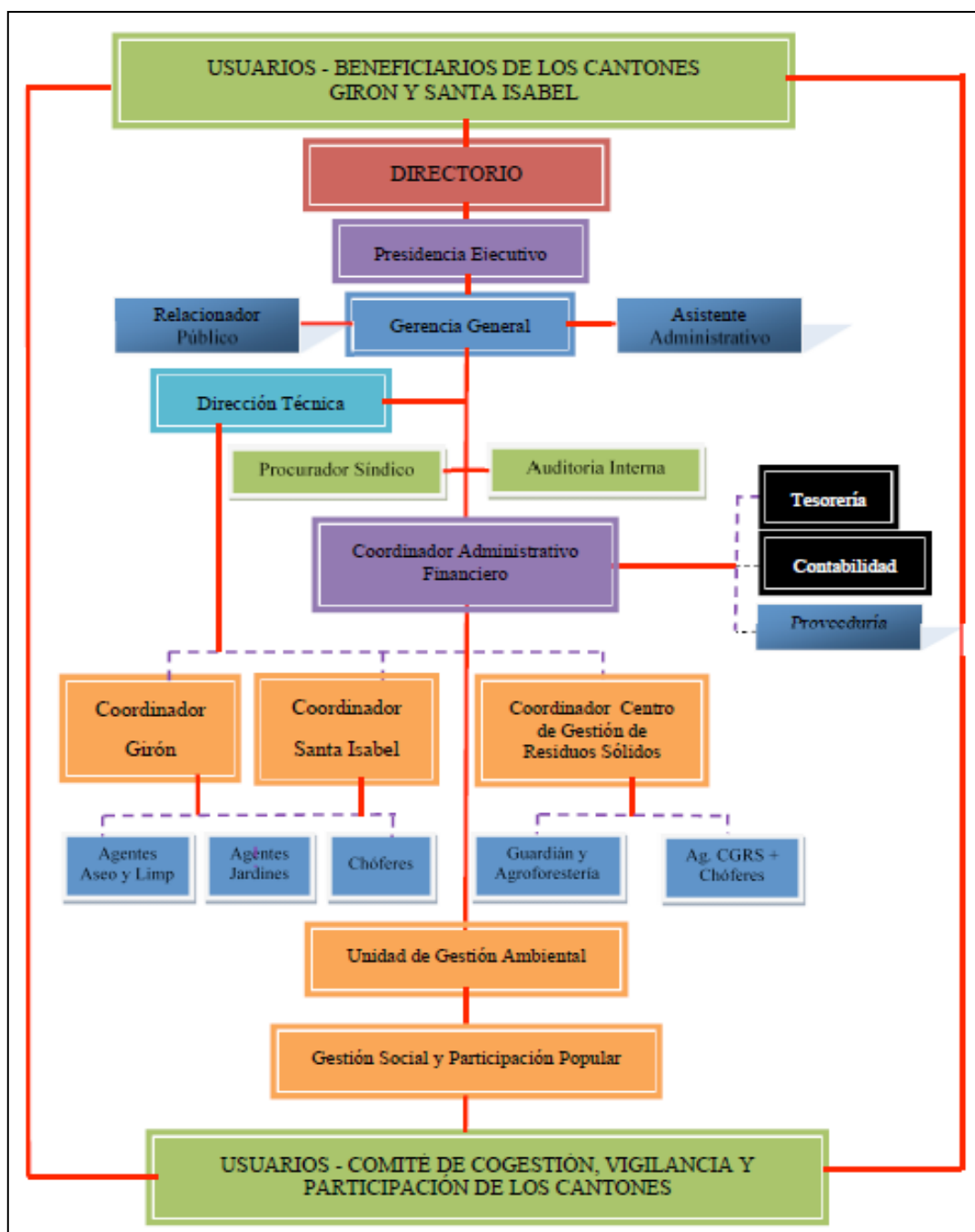
La finalidad del cerramiento es el de delimitar el terreno, para evitar que ingresen animales o personas no autorizadas y para seguridad del relleno sanitario en general.

## **4.4 OPERACIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA BASURA DEL RELLENO SANITARIO [1].**

### **4.4.1 Operación**

Para la debida operación del relleno sanitario se cuenta con el apoyo de los alcaldes de los cantones de Girón y Santa Isabel, y con un equipo de técnicos, empleados, trabajadores y maquinaria en general; ello permitirá cubrir las distintas obligaciones y necesidades que tiene el relleno.

Por este motivo a continuación le presentaremos un organigrama el cual nos muestra la estructuración de la empresa EMMAICJ-EP la misma que es la responsable del manejo del C.G.R.S.



**Figura 4. 13** Organigrama de la EMMAICJ-EP

Fuente: EMMAICJ-EP.

Actualmente el directorio de la Empresa Municipal Mancomunada de Aseo Integral de la Cuenca del Jubones, está conformado por el Alcalde de Girón, quien es el Presidente del Directorio, el Alcalde de Santa Isabel quien es el Vicepresidente del Directorio, el Director Técnico de la EMMAICJ-EP, el Director de Servicios

públicos y Gestión Ambiental del GAD de Girón, y el Director de Obras Públicas del GAD de Santa Isabel.

#### **4.4.1.1 Personal que trabaja en el C.G.R.S**

Ya en la disposición final que es el relleno sanitario se cuenta con un ingeniero residente, con siete a ocho trabajadores que, dependiendo de las necesidades del C.G.R.S, pueden ir alternando los sitios como: centro de clasificación de material inorgánico, centro de compostaje o el relleno sanitario. Para el tendido y cubrimiento de la basura se dispone de un chofer para el manejo del minicargador “bobcat”.

#### **4.4.1.2 Maquinaria.**

En lo que se refiere a maquinaria para el transporte de la basura de los distintos cantones hacia el centro de Gestión, se cuenta con dos camiones compactadores de basura, dos camiones con cajón volcable y dos volquetes (estos últimos son de San Fernando y Sevilla de Oro)<sup>31</sup>.

Con respecto al centro de clasificación de residuos sólidos se cuenta con un generador eléctrico de 44KW que permitirá el funcionamiento de la maquinaria existente en centro de clasificación y para abastecer de energía eléctrica a la bodega de herramientas.

Para el tendido y compactación de la basura en el relleno se cuenta con una minicargador y con un sistema de enfardamiento. Este sistema contiene una prensa que compacta los desechos que ya no se puede reciclarse; esto se lo hace con la finalidad de alargar la vida útil del relleno sanitario, ya que la basura prensada disminuye el volumen y por ende se ahorra espacio en la celda.

---

<sup>31</sup> EMMAICJ-EP, Ing. José Luis Solano





**Figura 4. 14** Maquinaria utilizada para cubrir y tender la basura

Fuente: Elaboración propia

#### **4.4.2 Composición de la basura del relleno sanitario. [4]**

Como ya se indicó anteriormente, la basura está compuesta por un innumerable tipo de desechos que según estudios realizados a nivel mundial más del 50% es basura orgánica, por esta razón los rellenos sanitarios tienen mayor probabilidad de generar biogás.

##### **4.4.2.1 Características de la basura de Santa Isabel y Girón.**

Un estudio realizado en el año 2003 para determinar la cantidad y composición de los residuos sólidos determinó que en Santa Isabel el 60.96% constituye material orgánico y el resto reciclables, mientras que en Girón el 52.5% orgánico y lo demás reciclables (papel, cartón, madera, metales, vidrio, plástico, textiles, etc.), (Ver tabla 4.1).

**Tabla 4. 1** Caracterización de la basura

	SANTA ISABEL			GIRON		
		Equipo tecnico municipal	Promedio		Equipo tecnico municipal	Promedio
Residuos Sólidos	Ing. Aguilar			Ing. Ramón		
Material Orgánico	60.69%	60.69%	60.69	52.50%	55.98%	54.24
Papel	7.42%	7.42%	7.42	7.60%	18.38%	12.99
Madera			0		3.50%	3.50%
Metales	0.39%	0.39%	0.39		2.50%	2.50%
Vidrio	1.18%	1.18%	1.18		4.10%	2.05
Plástico	5.81%	5.81%	5.81	4.80%	14.00%	9.4
Textiles	0.79%	0.79%	0.79		0.18%	0.18%
Materia inerte	12.17%	12.17%	12.17	11.70%	1.02%	6.36
Rechazo	12.06%	12.06%	12.06		6.95%	6.95%
Biopeligroso	N/D	N/D	N/D		0.25 %	0.25 %

**Fuente:** Plan director para Gestión Integral de Residuos Sólidos (EMMAICJ-EP)

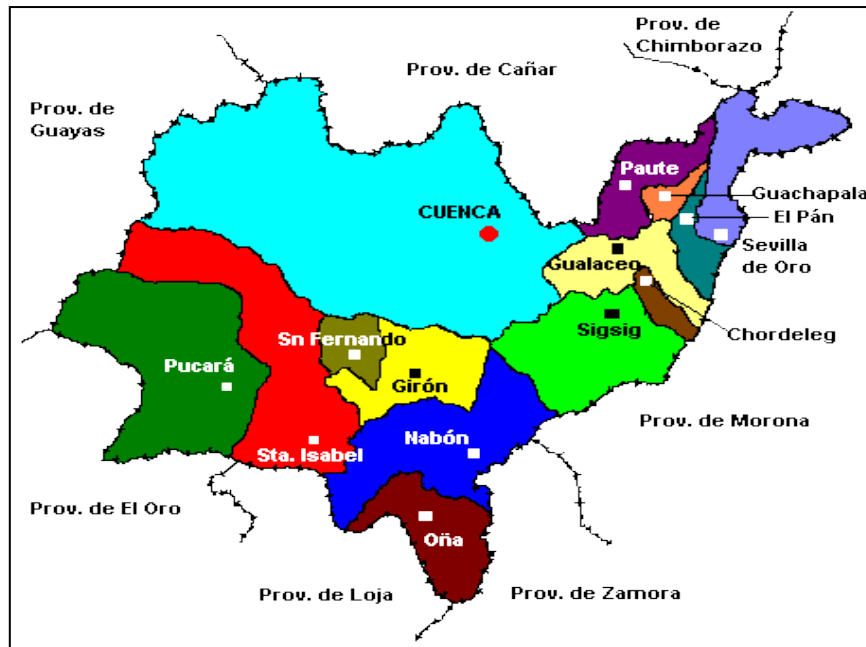
El relleno sanitario de Minas de Huascachaca inicia sus operaciones a mediados del 2008, operando al 100% a finales del 2009. Con respecto a la clasificación de basura hasta el año 2012 se ha reciclado aproximadamente el 80 %.

Se conoce que no toda la basura orgánica es clasificada en el centro de compostaje, por ejemplo, del 100% de basura recolectada los días sábados y domingos va a parar directamente en el Relleno Sanitario (días feriados en los cantones). De la basura orgánica recolectada los días lunes, miércoles y viernes el 20% no es posible clasificar.

#### **4.4.2.2 Cantidad de R.S.U que arriban al Relleno Sanitario de Minas de Huascachaca.**

Actualmente al C.G.R.S. de Minas de Huascachaca llegan desperdicios de los cantones antes mencionados, ya sea como socios o como clientes. Los cantones que actualmente depositan los R.S.U en el C.G.R.S siendo socios a la vez son: Santa Isabel, Girón y Nabón; y como clientes los cantones de San Fernando, Sevilla de Oro y Pucara.

Anteriormente también hacían uso de este relleno los cantones: Paute, Chordeleg, Sígig y Camilo Ponce Enríquez.



**Figura 4. 15** Mapa de la provincia del Azuay  
**Fuente:** Banco del estado

Actualmente (2013) al relleno sanitario llegan aproximadamente 20 toneladas diarias de residuos (ver tabla 4.2).

**Tabla 4. 2** Cantones socios y clientes del C.G.R.S

Categoría	Cantones	Ton/día
Socios	Santa Isabel	8
	Nabón	2
	Girón	4
Clientes	San Fernando	2,5
	Sevilla de Oro	1,5
	Pucará	2
Total		20

**Fuente:** EMMAICJ-EP

Los cantones que se encuentran en la cuenca hidrográfica del Río Jubones tienen mayor posibilidad para depositar los R.S.U en el relleno sanitario de minas de Huasachaca, debido a su cercanía; pero se podría pensar en recibir los desechos prácticamente de toda la provincia del Azuay, ya que las características de la zona son favorables. Actualmente se cuenta con 50 hectáreas de terreno, pero existe un convenio con la cooperativa Dandán para incrementar 50 hectáreas más, llegando así a conformar un total de 100 hectáreas.



#### 4.5 PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS.[3]

Para el cálculo de la producción de biogás generado en el C.G.R.S de Minas de Huascachaca se utilizará la Versión 1.0 del modelo de producción de biogás para estimar su generación en rellenos o vertederos de desechos en Ecuador (Ecuador LFG Model). *El desarrollo del modelo específico de biogás de Ecuador es una extensión del modelo de biogás de México desarrollado por SCS Engineers bajo contrato con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos –USEPA- en el año 2003. El modelo fue recalibrado basado en la experiencia obtenida mediante la ejecución de dos estudios de pre factibilidad y ensayos de bombeo de gas llevados a cabo en el relleno Las Iguanas (Guayaquil) y relleno Pichacay (Cuenca) en marzo y abril 2007. Adicionalmente a los informes de evaluación de tres sitios, Chabay (Azogues), El Valle (Cuenca) y Loja.*<sup>32</sup>

Este modelo requiere que se ingresen datos específicos del sitio sobre los años de inicio y cierre del mismo, tasas de disposición de desechos, precipitación promedio anual y eficiencia en la captación del gas.

Tanto el modelo de Carbon Trade Ltd. como el modelo U.S. EPA México están basados en la ecuación 1. Esta ecuación emplea una forma de función de decaimiento exponencial de primer orden, la cual asume que la generación de biogás está en su punto más alto después de un determinado tiempo que representa el periodo previo a la generación de metano.

Las matemáticas de decaimiento de primer orden de este modelo se expresan de la siguiente manera:

---

<sup>32</sup> Manual de Usuario para el Modelo de Biogás de Ecuador, autores: Christian Siliezar y Roberto Urquiza, Carbon Trade Ltd Latinoamérica para Eastern Research Group

**Ecuación 1 – Modelo de Decaimiento de Primer Orden**

$$Q = \sum_0^n \frac{1}{\%_{vol}} k M L_0 e^{-k(t-t_{lag})}$$

Dónde:

- Q Cantidad total de biogás generado (Metros Cúbicos Normales)  
n Número total de años modelados  
t Tiempo en años desde que los desechos fueron depositados  
 $t_{lag}$  Tiempo estimado entre la disposición de desechos y la generación de metano  
 $\%_{vol}$  Porcentaje volumétrico estimado de metano en el biogás  
 $L_0$  Volumen estimado de metano generado por tonelada de desecho sólido  
k Tasa estimada de decaimiento de desecho orgánico  
M Masa de desechos colocados en el lugar en año t (toneladas)

**4.5.1 Datos principales para estimar la generación y recuperación del biogás en el sitio.**

Se sabe que el biogás se genera por la descomposición de desechos sólidos orgánicos en un sitio de disposición final y puede ser recuperado bajo la operación de un sistema de captación de biogás construido en el sitio.

Por ello para estimar la generación de biogás se requiere de la siguiente información:

- **Capacidad de diseño del sitio de disposición final.**

La capacidad instalada del relleno de Minas de Huascachaca es de **70395 m<sup>3</sup>**. La misma que consta de tres terrazas; las dos primeras terrazas se encuentran prácticamente fuera de servicio, por haber cumplido su vida útil. Se tiene proyectada que la vida útil de la tercera terraza dure hasta el año 2023.

- **Cantidad de desechos depositados en el sitio, o el índice de aceptación anual estimado**

Actual mente se tiene depositado en las dos terrazas un total de **33812 m<sup>3</sup>** de desecho.

- **La tasa de decaimiento de los desechos (k) y el potencial de generación de metano en los desechos ( $L_0$ )**

▪ **Variable “K”**

La variable ‘k’, el ritmo al que la fracción orgánica de desechos se degrada dentro de la masa de desechos, puede variar entre 0.1 y 0.01. Esta amplia variación (un factor de 10) resulta de la disponibilidad de carbono orgánico en los desechos y depende del contenido de humedad de los mismos.

▪ **Variable “ $L_0$ ”**

La variable  $L_0$ , que es la cantidad de metano generado, varía de 60m<sup>3</sup>/tonelada a tan alto como 120m<sup>3</sup>/tonelada para basura doméstica común. En desechos más inertes este valor puede ser significativamente más bajo. El factor potencial de dos en esta variable depende principalmente de la cantidad de carbono orgánico dentro de los desechos y la disponibilidad de éste.

Como se puede observar, en las dos variables la disponibilidad de carbono orgánico desempeña un papel clave en la cantidad de biogás generado, por lo tanto esta es una función de la condición de los desechos.

Para determinar los valores exactos de las variables k y  $L_0$  se requiere un conocimiento detallado de los insumos de desechos en el sitio, las condiciones biológicas del vertedero, las aportaciones de desechos de comunidades específicas, las condiciones ambientales, etc. El historial generado durante un número de años de extracción de gas de sitios similares se puede utilizar para ajustar empíricamente los valores de k y  $L_0$ .

Por esta razón vamos a utilizar los datos obtenidos de los ensayos de bombeo de gas de Pichacay y Las Iguanas en 2007. En la siguiente Tabla se muestra una gama de valores de  $L_0$  y  $k$  que están previstas en el modelo de Ecuador

**Tabla 4. 3** Tabla de revisión para determinar los valores de  $k$  y  $L_0$

Precipitación (mm/año)	K	K	$L_0$	$L_0$
	Desecho con Comida media (= $\leq 50\%$ )	Desecho con Comida alta (= $\geq 65\%$ )	(m <sup>3</sup> / Ton Métrica) Desecho con Comida media (= $\leq 50\%$ )	(m <sup>3</sup> / Ton Métrica) Desecho con Comida alta (= $\geq 65\%$ )
0	0.040	0.043	60	62
250	0.050	0.053	80	83
500	0.065	0.69	84	87
1000 / Saturado	0.080	0.085	84	87
2000 / Saturado	0.080	0.085	84	87

**Fuente:** Manual de Usuario Modelo de Biogás de Ecuador, Christian Siliezar y Roberto Urquiao, Carbon Trade Ltda, Febrero/2009.

La tabla de revisión define los valores de  $k$  y  $L_0$  de diferentes composiciones de desechos y de diferentes zonas de precipitación pluvial.

Para el punto en estudio se tiene un valor normal de precipitación anual de 572.1 mm, siendo el valor más próximo el de 500 mm al año; si tomamos el valor de “ $K$ ” y “ $L_0$ ” con valores de desechos orgánicos medios (= $\leq 50\%$ ), debido a que en el sitio se recicla en parte la basura orgánica, entonces corresponderán los siguientes datos.

**Tabla 4. 4** Valores determinados para el cálculo de generación de biogás en el sitio de estudio.

Precipitación (mm/año)	K	$L_0$ (m <sup>3</sup> / Ton Métrica)
	Desecho con Comida media (= $\leq 50\%$ )	Desecho con Comida media (= $\leq 50\%$ )
500	0.065	84

**Fuente:** Elaboración propia

#### - La eficiencia del sistema de captación de biogás

El modelo de biogás calcula cuánto biogás (o metano) está generando el vertedero. Esto no significa que todo el biogás generado pueda

recolectarse. Es habitual aplicar un valor de 'Eficiencia de Captación' que estima el porcentaje del metano generado que puede captarse.

La eficiencia de Captación varía dependiendo de la construcción del sitio y el nivel de agua (lixiviado) dentro del mismo. El diseño de pozos de captación de gases también afectará la eficiencia de captación.

El modelo de Ecuador contiene una tabla de referencia con valores de eficiencia de captación predeterminados. Estos valores se utilizarán en el presente estudio.

Este modelo sugiere que pozos verticales u horizontales instalados mientras se colocan los desechos pueden poseer la mayor eficiencia de recolección. Sin embargo también se puede hacer uso de chimeneas pasivas.

Por otro lado este modelo también depende de la tecnología aplicada para la capa de cobertura del sitio. En la siguiente tabla se presenta valores para la eficiencia de captación del gas.

**Tabla 4. 5** Eficiencia de captación de Biogás.

Técnica de Captación	Capa de Cobertura	
	Arcilla Saturada / Geomembrana	Arcilla No Saturada
Pozos Perforados Verticales / Colectores Horizontales	80%	70%
Chimeneas Pasivas (existentes) Convertidas	60%	40%

**Fuente:** Manual de Usuario Modelo de Biogás de Ecuador, Christian Siliezar y Roberto Urquiao, Carbon Trade Ltda, Febrero/2009.

Debido a que algunos sitios pueden cumplir con las condiciones de ambas columnas 'Arcilla Saturada' y 'Arcilla No-Saturada' dependiendo de la temporada (seca o húmeda), la eficiencia de captación debe ser calculada basada en la proporción del tiempo que la capa de cobertura espera satisfacer cada condición.

Para fines de estudio se considera una eficiencia de recolección de 70%, que es el valor aplicable en capa de cobertura de arcilla no saturada.

- **Años de operación a la fecha y años que se planea continuar operando**

El relleno se encuentra operando desde el año 2008, lo que quiere decir que a la fecha tiene operando cuatro años. Como se mencionó anteriormente, para el 2013 se tiene previsto una tercera celda que posiblemente perdure hasta el 2023.

- **Composición de biogás**

La composición del biogás es asumida por el modelo, aproximadamente 50 por ciento de gas metano (CH<sub>4</sub>) y 50 por ciento otros gases (Dióxido de carbono, Nitrógeno, Oxígeno, etc.).

- **Masa de desechos colocados en el lugar en año t (toneladas)**

Al relleno sanitario llegan aproximadamente 20 ton/día, lo que quiere decir que al año (365 días) se tendrá:

$$\text{Ton/año} = 365 * 20 = 7300 \text{ toneladas}$$

Según los datos proporcionados por la EMMAICJ-EP en estos cuatro años el incremento anual ha sido de un 20%.

*Las variables que han intervenido para este incremento son las siguientes: se han incorporado tres cantones a participar dentro de la empresa, se ha logrado ampliar los niveles de cobertura en todos los cantones, se ha logrado una mejor prestación del servicio. Descartándose la variable del crecimiento poblacional, en algunos cantones se caracteriza por tener índices de crecimiento negativos.*<sup>33</sup>

Según los datos del INEC la tasa de crecimiento poblacional (2001-2010) a nivel del Azuay en la mayoría de los cantones son positivos, los únicos cantones que tienen valores negativos son: Girón y Pucará, el primero con -0,24% y el segundo con -2,00%. Claro está que hay que tomar en cuenta, que el cantón que aporta con mayor toneladas de basura es Santa Isabel, cuya tasa de crecimiento es

---

<sup>33</sup> EMMAIC\_EP, Ing. José Luis Solano.

1,45%. En el caso que se incluya al cantón Cuenca, se tendrá que considerar su tasa de crecimiento poblacional (1,93%); estos datos son muy importantes, debido a que pueden influir en el incremento de desechos sólidos.

**Tabla 4. 6** Toneladas año dispuestas desde el 2008 hasta el 2023

Año	Incremento (ton/año) [%]	Toneladas Dispuestas (ton/año)
2008	0	7300
2009	20	8760
2010	20	10512
2011	20	12614
2012	20	15137
2013	20	18165
2014	20	21798
2015	20	26157
2016	20	31389
2017	20	37666
2018	20	45200
2019	20	54240
2020	20	65088
2021	20	78105
2022	20	93726
2023	20	112471

Fuente: EMMAICJ-EP

Con los datos obtenidos anteriormente, procedemos a utilizar la Versión 1.0 del modelo de producción de biogás para estimar su generación en rellenos o vertederos de desechos en Ecuador (Ecuador LFG Model), en este caso para el relleno de Minas de Huascachaca.

Este programa está desarrollado en Microsoft Excel, consta de tres hojas; las mismas que tienen los siguientes nombres y funciones:

- **Entrada.** Esta hoja es para ingresar los datos mínimos para el cálculo de generación y recuperación del biogás.
- **Resultados - Tabla.** La segunda es para ver los resultados calculados con los datos ingresados en la hoja anterior
- **Resultados - Gráfica.** Esta última hoja es para ver en forma gráfica los resultados calculados anteriormente.

#### **4.5.2 Entrada de datos**

En esta parte procedemos a ingresar todos los datos necesarios para el cálculo de biogás; para lo cual utilizaremos la hoja Entrada. Los datos que se requieren en esta parte ya fueron encontrados con anterioridad.

En la siguiente gráfica (Fig. 4.16) se puede observar todos los datos que se requieren para el cálculo de la generación del biogás.



Modelo de Biogás de Ecuador V1.0 - copia [Modo de compatibilidad] - Microsoft Excel

Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Programador Complementos

Advertencia de seguridad Las macros se han deshabilitado. Opciones...

F35

**MODELO DE BIOGÁS DE ECUADOR [V1.0]**

**INSTRUCCIONES:**

Las celdas con el texto verde son las celdas de entrada. Las instrucciones en negritas describen los requerimientos mínimos de entrada.

**PARÁMETROS:**

**PROYECCIONES DE GENERACIÓN Y RECUPERACIÓN DE BIOGÁS**

**RELLENO SANITARIO DE MINAS DE HUSCACHACA-SANTA ISABEL-AZUAY**

31-Jan-13

Año de Inicio de Operaciones: 2008

Año de Término de Operaciones: 2023

Precipitación Promedio Anual: 500 mm/año

Contenido de Metano en el Biogás: 50%

Índice de Generación de Metano (k): 0,065 1/año

Generación Potencial de Metano (L<sub>0</sub>): 84 m<sup>3</sup>/ton

L<sub>0</sub> equivalente en unidades inglesas: 2690 ft<sup>3</sup>/ton

Ingresar el año en que el relleno sanitario empezó y dejó de recibir residuos.

Ingresar las toneladas dispuestas por año en la Columna B.

Seleccione la precipitación promedio anual de la estación meteorológica más cercana al relleno sanitario. Consultar el Sitio Web y Dejar el valor del contenido de metano en 50%, a menos que se requiera cambiar el valor. El Modelo asume una concentración de metano de 50%. Si proyectado aumentará, si el valor es mayor a 50% el flujo de biogás proyectado disminuirá.

El valor k se calcula automáticamente en base a la precipitación promedio anual.

El valor L<sub>0</sub> será calculado y redondeado al valor entero más cercano (m<sup>3</sup>/Mg) basado en la precipitación promedio anual.

**Eficiencia del Sistema de Recolección:** Ingresar los valores conocidos y/o los valores proyectados para cada año en la Columna D.

La eficiencia deberá basarse en una evaluación independiente del sistema de recuperación (ver las instrucciones en el Manual de Usuario).

**Datos de Recuperación de Biogás:** Ingresar en la Columna F el flujo de biogás promedio anual con metano a 50%. **DEJAR EN BLANCO SI EL VALOR ES CERO.**

Año	Toneladas Dispuestas (ton/año)	Toneladas Acumuladas (ton)	Toneladas Masa Disponibles	Eficiencia del Sistema de Recolección	Recuperación Actual (m <sup>3</sup> /hr)
2008	7.300	7300	100%	50%	
2009	8.760	16060	100%	50%	
2010	10.512	26572	100%	50%	
2011	12.614	39186	100%	50%	
2012	15.137	54323	100%	50%	
2013	18.165	72488	100%	50%	
2014	21.798	94286	100%	50%	
2015	26.157	120443	100%	70%	
2016	31.389	151832	100%	70%	
2017	37.666	189498	100%	70%	
2018	45.200	234698	100%	70%	
2019	54.240	288938	100%	70%	
2020	65.088	354026	100%	70%	
2021	78.105	432131	100%	70%	
2022	93.726	525857	100%	70%	

**TABLA 1 - TABLA DE CALCULO DE V K Y L<sub>0</sub>**

Precipitación (mm/año)	k Contenido Medio de Residuos de Comida o Alimenticios =<50%	k Alto Contenido de Residuos de Comida o Alimenticios=>60%	(m <sup>3</sup> C Res A
0-249	0,04	0,043	
250-499	0,05	0,053	
500-999	0,065	0,069	
1000 - 1999 o Saturado	0,08	0,085	
2000+ o Saturado	0,08	0,085	

**TABLA 1 - TABLA DE ENTRADA DEL Eficiencia del Sistema de Recolección**

Entrada Resultados - Tabla Resultados - Gráfica

Listo

**Figura 4. 16** Entrada de datos para el cálculo de biogás

**Fuente:** Elaboración propia (Uso del software Modelo de Biogás de Ecuador V1.0)

En nuestro caso, no existen tasas de recuperación de gas, entonces se procederá a dejar en blanco (no ingresar ceros) en la columna de **recuperación Actual (m<sup>3</sup>/hr)**; estos valores no son requeridos para el cálculo del modelo. Sin embargo, estos proporcionan una referencia útil para comparar tasas actuales de recuperación con las predicciones del modelo.

#### 4.5.3 Resultados de la proyección de generación de biogás

Una vez ingresado los datos nos trasladamos a la hoja (Resultados – Tabla), en ella se muestra los datos como: el índice de disposición de los desechos, Toneladas acumuladas, generación de biogás, eficiencia del sistema de recolección y recuperación del biogás existente/planeado ver Tabla 4.7.

**Tabla 4. 7** Proyección de generación y recuperación de biogás, para el relleno sanitario de Minas de Huascachaca – Santa Isabel – Azuay

Año	Índice de Disposición	Toneladas Acumuladas	Generación de Biogás			Eficiencia del Sistema de Recolección	Recuperación de Biogás del Sistema Existente/Planeado		
	(Ton/año)	(Ton)	(m <sup>3</sup> /min)	(m <sup>3</sup> /h)	(mmBTU/año)	(%)	(m <sup>3</sup> /min)	(m <sup>3</sup> /h)	(mmBTU/año)
2008	7.300	7.300	0,0	0	0	50%	0,0	0	0
2009	8.760	16.060	0,2	9	1.424	50%	0,1	5	712
2010	10.512	26.572	0,3	19	3.043	50%	0,2	10	1.521
2011	12.614	39.186	0,5	31	4.902	50%	0,3	16	2.451
2012	15.137	54.323	0,8	45	7.054	50%	0,4	23	3.527
2013	18.165	72.488	1,0	61	9.562	50%	0,5	31	4.781
2014	21.798	94.286	1,3	80	12.504	50%	0,7	40	6.252
2015	26.157	120.443	1,7	102	15.969	70%	1,2	71	11.178
2016	31.389	151.832	2,1	128	20.066	70%	1,5	90	14.046
2017	37.666	189.498	2,7	159	24.925	70%	1,9	111	17.448
2018	45.200	234.698	3,3	196	30.703	70%	2,3	137	21.492
2019	54.240	288.938	4,0	240	37.588	70%	2,8	168	26.311
2020	65.088	354.026	4,9	293	45.802	70%	3,4	205	32.061
2021	78.105	432.131	5,9	355	55.615	70%	4,1	249	38.930
2022	93.726	525.857	7,2	430	67.349	70%	5,0	301	47.145
2023	112.471	638.328	8,7	520	81.392	70%	6,1	364	56.975
2024	0	638.328	10,5	627	98.208	70%	7,3	439	68.745
2025	0	638.328	9,8	588	92.027	70%	6,9	412	64.419
2026	0	638.328	9,2	551	86.236	70%	6,4	386	60.365
2027	0	638.328	8,6	516	80.809	70%	6,0	361	56.566
2028	0	638.328	8,1	484	75.723	70%	5,6	339	53.006
2029	0	638.328	7,6	453	70.958	70%	5,3	317	49.670
2030	0	638.328	7,1	425	66.492	70%	5,0	297	46.545
2031	0	638.328	6,6	398	62.308	70%	4,6	279	43.615
2032	0	638.328	6,2	373	58.387	70%	4,4	261	40.871

Año	Índice de Disposición	Toneladas Acumuladas	Generación de Biogás			Eficiencia del Sistema de Recolección	Recuperación de Biogás del Sistema Existente/Planeado		
	(Ton/año)	(Ton)	(m <sup>3</sup> /min)	(m <sup>3</sup> /h)	(mmBTU/año)	(%)	(m <sup>3</sup> /min)	(m <sup>3</sup> /h)	(mmBTU/año)
2033	0	638.328	5,8	350	54.712	70%	4,1	245	38.299
2034	0	638.328	5,5	328	51.269	70%	3,8	229	35.888
2035	0	638.328	5,1	307	48.042	70%	3,6	215	33.630
2036	0	638.328	4,8	288	45.019	70%	3,4	201	31.513
2037	0	638.328	4,5	269	42.186	70%	3,1	189	29.530
2038	0	638.328	4,2	253	39.531	70%	2,9	177	27.672
2039	0	638.328	3,9	237	37.043	70%	2,8	166	25.930
2040	0	638.328	3,7	222	34.712	70%	2,6	155	24.298
2041	0	638.328	3,5	208	32.528	70%	2,4	145	22.769
2042	0	638.328	3,2	195	30.480	70%	2,3	136	21.336
2043	0	638.328	3,0	182	28.562	70%	2,1	128	19.994
2044	0	638.328	2,8	171	26.765	70%	2,0	120	18.735
2045	0	638.328	2,7	160	25.080	70%	1,9	112	17.556
2046	0	638.328	2,5	150	23.502	70%	1,8	105	16.451
2047	0	638.328	2,3	141	22.023	70%	1,6	98	15.416
2048	0	638.328	2,2	132	20.637	70%	1,5	92	14.446
2049	0	638.328	2,1	124	19.338	70%	1,4	86	13.537
2050	0	638.328	1,9	116	18.121	70%	1,4	81	12.685

**NOTA**

Contenido de Metano en el Biogás:

50%

Índice de Generación de Metano (k):

0,0651/año

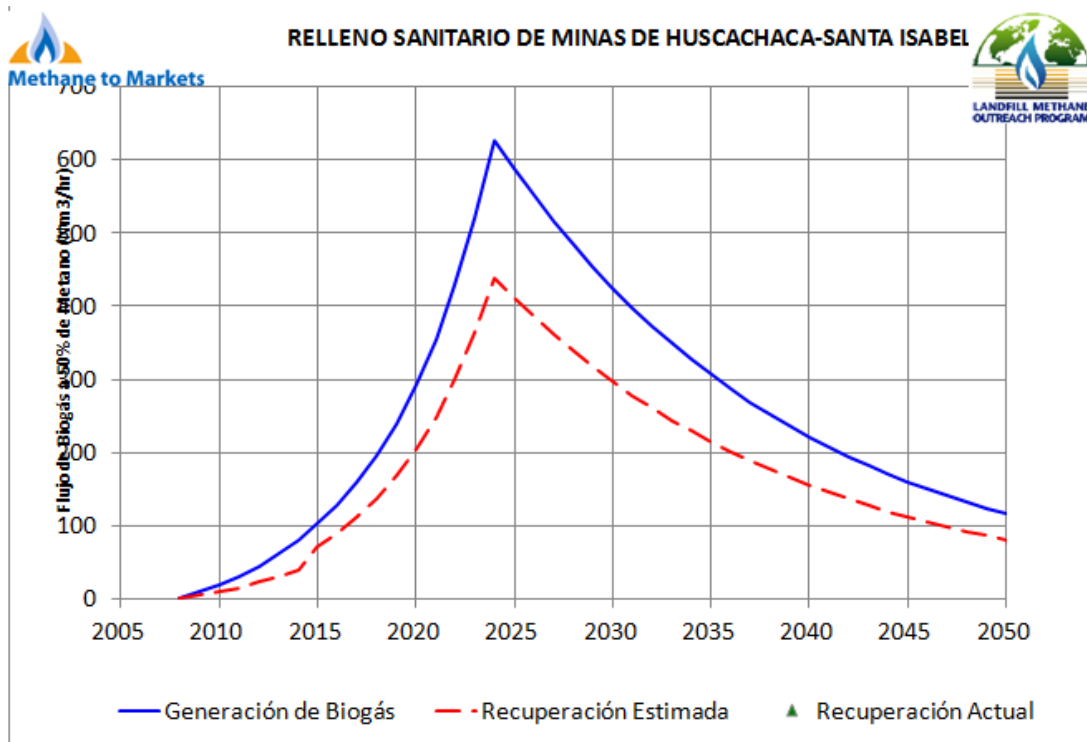
Generación Potencial de Metano (L<sub>0</sub>):

84 m<sup>3</sup>/ton

**Fuente:** Elaboración propia (Uso del software Modelo de Biogás de Ecuador V1.0)

#### 4.5.4 Resultados de la proyección de generación de biogás en forma gráfica

La mejor manera de visualizar los datos de una tabla, es de forma gráfica; por ello, los resultados de la proyección de biogás del Relleno de Minas de Huascachaca también son presentados en esta forma.



**Figura 4. 17** Proyección de generación y recuperación de biogás

Fuente: Elaboración propia (Uso del software Modelo de Biogás de Ecuador V1.0)

#### 4.5.5 Posibles usos del biogás analizado

Hoy en día existe una gran cantidad de opciones para el uso del biogás, por ejemplo se puede utilizar en procesos industriales, agrícolas, domiciliarios, así como también la generación de energía eléctrica, que en nuestro caso es el de mayor interés. El contenido de metano del biogás también puede ser separado de otros componentes y utilizado como suplemento del gas natural o, en ciertas circunstancias, ser comprimido para uso como combustible de vehículo. Adicionalmente, debido a que el metano de la disposición de sólidos sobre tierra es uno de las mayores fuentes de emisión de los gases causantes del efecto invernadero, su captura y oxidación a dióxido de carbono resulta ser un importante beneficio ambiental.

En el siguiente capítulo se desarrolla el análisis técnico de la opción de usar el biogás del relleno de Minas de Huasachaca para generación de electricidad.



#### 4.6 REFERENCIAS:

- [1] EMMAIC-EP. <http://www.emmaicj.gob.ec/>
- [2] Diagnóstico ambiental del proyecto “Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la Empresa Pública Municipal Mancomunada de aseo integral de la cuenca del Jubones – EMMAICJ - EP”, provincia del Azuay, 2008
- [3] Evaluación del Potencial de Biogás del Relleno El Valle, Cuenca, Ecuador , Eastern Research Group, Inc. y Carbon Trade Ltd, Methane to Markets
- [4] Plan director para gestión integral de residuos sólidos, EMMAICJ-EP



## **CAPITULO 5**

### **ANÁLISIS TÉCNICO**

#### **5.1 INTRODUCCIÓN**

En el capítulo 3 se mencionaron varias aplicaciones para aprovechar el biogás generado por los rellenos sanitarios. Este capítulo se dedica específicamente al aprovechamiento del biogás para la generación de energía eléctrica. Cuando se genera energía eléctrica utilizando como combustible el gas producido en los rellenos sanitarios, se está utilizando una fuente de energía renovable que de alguna manera habría sido desechada, además de ser una fuente de combustible local. En la actualidad se puede producir energía eléctrica a partir del biogás utilizando varias tecnologías como son: los motores de combustión interna, celdas de combustible, turbinas, micro turbinas, etc.

#### **5.2 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Para la producción de energía eléctrica mediante gas natural o biogás, existen varias tecnologías para la aplicación; la diferencia de aplicar una u otra tecnología radica especialmente en la cantidad de combustible con el cual opera, la eficiencia, las potencias máximas y mínimas de generación, el costo del equipo e instalación, etc.

##### **5.2.1 Tecnologías disponibles [1] [2]**

A continuación vamos a tratar las tecnologías mayormente aplicadas en generación distribuida para pequeños proyectos de biogás, y en función de ello escogeremos la más adecuada.

### 5.2.1.1 Turbinas a gas

Las turbinas de gas se han convertido en la tecnología más extendida para la generación a gran escala en los últimos años, sin embargo, también son utilizadas en generación a pequeña escala. En el mercado hay disponibles unidades de pocos kilowatios efectivos (kWe) de potencia hasta unos centenares de Kwe. En comparación con los motores de combustión interna se puede decir que el espacio que utilizan las micro turbinas es menor que los motores convencionales, los costes de mantenimiento son inferiores, tienen una baja emisión de óxidos de nitrógeno (NOx) a la atmósfera y alcanza en poco tiempo su generación nominal o lo que se conoce como plena carga. Sin embargo, las eficiencias eléctricas son típicamente inferiores y el costo de instalación es muy superior al de los motores de combustión interna. En la tabla 5.1 se presenta las características principales de micro turbinas operando en ciclo simple, como: capacidad eléctrica nominal (kW), consumo energético (Btu/kWh), eficiencia eléctrica (%), entrada de combustible (MMBtu/hr), presión requerida del gas (psig) y el costo del kilowatio instalado (\$USD/kW). Como se puede observar, todas las características antes mencionadas varían según la capacidad eléctrica nominal (KWe) de micro turbinas.

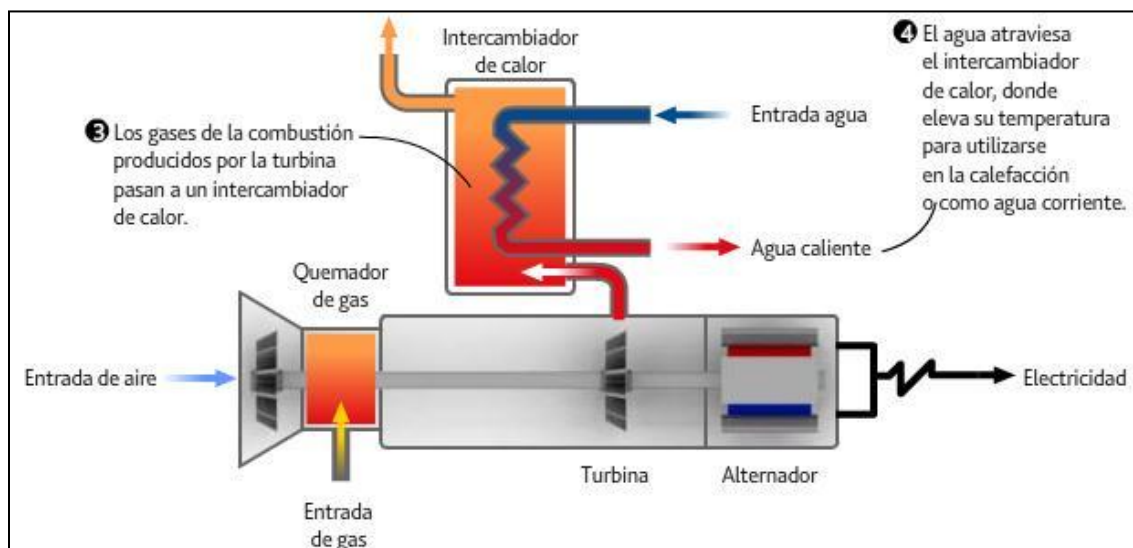
**Tabla 5. 1** Características principales de micro turbinas a gas cuando operan en ciclo simple

<i>Características de rendimiento</i>	<b>Capstone modelo 330-30kW</b>	<b>IR Energy System 70LM*-70kW</b>	<b>Turbec T100-100kW</b>	<b>DTE**-350kW</b>
<i>Capacidad de Electricidad Nominal (kW)</i>	30kW	70kW	100kW	350kW
<i>Heat Rate eléctrica (Btu/kWh)</i>	14,581	13,54	12,637	11,766
<i>Eficiencia Eléctrica (%)</i>	23,4%	25,2%	27,0%	29,0%
<i>Entrada de Combustible (MMBtu/hr)</i>	0,437	0,948	1,264	4,118
<i>Presión de gas, Combustible requerido (psig)</i>	55	55	75	135
<i>Costo total instalado \$USD/kW</i>	1962	1729	1320	1171

\* Modelo de dos ejes.

\*\*Actualmente en desarrollo

**Fuente:** Tecnologías de generación distribuida: Costos y eficiencia, Francisco M. González - Longatt, 2004



**Figura 5. 1** Estructura interna de una turbina a gas

**Fuente:** EROSKI CONSUMER, Energía y ciencia, Micro generación doméstica.

[http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/energia\\_y\\_ciencia/2010/01/31/190411.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2010/01/31/190411.php)

### 5.2.1.2 Motores de combustión interna

La mayoría de las unidades utilizadas para la generación (ciclo simple) y cogeneración<sup>34</sup> (ciclo combinado) a pequeña escala, son motores de combustión interna que funcionan con los mismos principios que sus equivalentes de vehículos de gasolina y diesel. Los motores funcionan con combustibles líquidos o gaseosos, como: el gasóleo, gas natural o biogás. En la actualidad se fabrican desde un rango de potencia que va desde las decenas de Kw hasta 20 MW.

Los motores de combustión interna tienen eficiencias eléctricas que varían entre un 30 y 39% (Ver tabla 5.2), se caracterizan por ser máquinas de 4 tiempos que operan en ciclo Otto. El ratio de calor utilizable para energía está normalmente en el rango de 1:1 a 2:1.

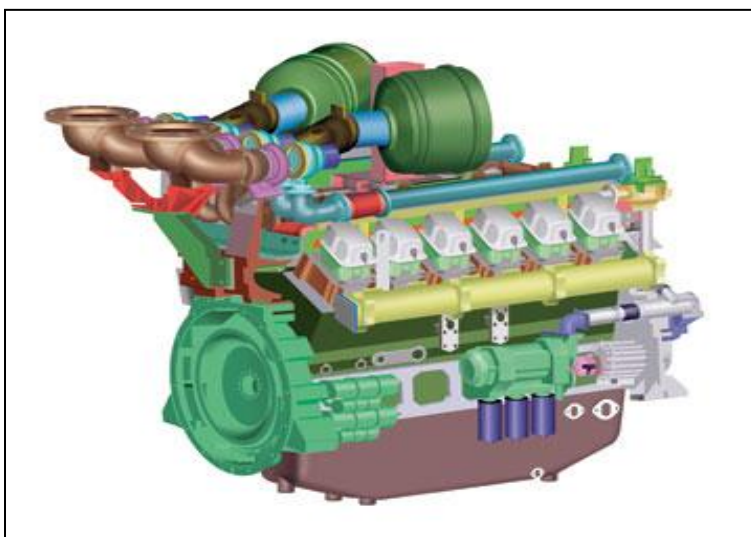
<sup>34</sup> La cogeneración es la producción secuencial de dos o más formas de energía útil a partir de la misma fuente de combustible, también conocido como calor y electricidad combinadas (CHP por sus siglas en ingles)



**Tabla 5. 2** Características principales de los motores de combustión interna cuando operan en ciclo simple.

<i>Características de rendimiento</i>	MAN 100kW-150kW	Cummis GSK19G 300kW	Caterpillar G3516LE 800kW	Caterpillar G3616LE 3000kW	Wartsila 5238LMN 5000kW
<i>Capacidad de Electricidad Nominal (kW)</i>	100kW	300kW	800kW	3000kW	5000kW
<i>Heat Rate eléctrica (Btu/kWh)</i>	11147	10967	10246	9492	8758
<i>Eficiencia Eléctrica (%)</i>	30,6%	31.1%	33.3%	36,0%	39,0%
<i>Entrada de Combustible (MMBtu/hr)</i>	1,11	3,29	8,2	28,48	43,79
<i>Presión de gas, Combustible requerido (psig)</i>	<3	<3	<3	43	65
<i>Costo total instalado \$USD/kW</i>	1515	1200	1000	920	920

**Fuente:** Tecnologías de generación distribuida: Costos y eficiencia, Francisco M. González - Longatt, 2004



**Figura 5. 2** Motor de combustión interna

**Fuente:** Motores de combustión interna, gas natural fenosa.

<http://www.empresaeficiente.com/es/catalogo-de-tecnologias/motores-alternativos-a-gas#ancla>

En el caso de utilizar los motores de combustión interna que tengan como fuente principal de combustible el diesel, es necesario adaptarlo el motor para que funcione con biogás. Claro está, que este tipo de motores no funcionan solo con

biogás, necesita de una mezcla de diesel-biogás-aire. En la medida que aumenta el consumo de biogás, el consumo de la mezcla aire-diesel disminuye.

### 5.2.1.3 Celdas de combustible (Fuel Cells)

*Las denominadas pilas de combustible (fuel cells en inglés) son sistemas energéticos que utilizan gas natural y que producen, al igual que las pilas que todos conocemos, energía eléctrica y, como las calderas de combustible que hay en nuestras viviendas, también proporcionan agua caliente sanitaria y energía térmica para calefacción<sup>35</sup>.*

Actualmente la celda de combustible es una tecnología nueva que a futuro promete grandes beneficios para la producción de energía eléctrica y cogeneración, esta tecnología ofrece un bajo impacto ambiental, un menor consumo de combustible y presentan un elevado rendimiento.

En la actualidad presenta una notoria desventaja, debido que requiere un combustible con un grado de pureza medio-alto lo que demanda una mayor inversión, además, los materiales constructivos de la celda de combustible tienen un elevado coste. Por el momento no es un sistema económicamente competitivo respecto a las turbinas de gas o a los motores de combustión interna para la generación de electricidad.

---

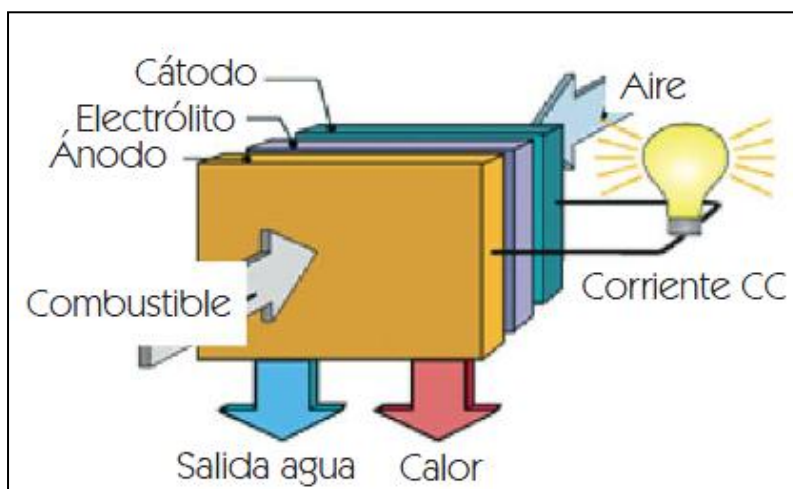
<sup>35</sup> Micro generación con pilas de combustible a gas natural, A.M<sup>a</sup> Gutiérrez, Coordinador de Proyectos de Desarrollo y Tecnología de la Sociedad de Gas Euskadi, S.A. (Grupo EVE)  
[www.energuia.com](http://www.energuia.com)

**Tabla 5. 3** Características principales de las Celdas de Combustible

Características de rendimiento	TIPO DE CELDA					
	Membrana de Intercambio Protónico (PEM)	Oxido Sólido (SOFC)	Membrana de Intercambio Protónico (PEM)	Acido Fosfórico (PAFC)	Carbonatos Fundidos (MCFC)	Carbonatos Fundidos (MCFC)
Capacidad de Electricidad Nominal (kW)	10kW	100kW	200kW	200kW	250kW	2000kW
Heat Rate eléctrica (Btu/kWh)	11370	7580	9750	9480	9730	7420
Eficiencia Eléctrica (%)	30,0%	45,0%	35,0%	36,0%	43,0%	46,0%
Combustible	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> , CO	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> , CO	CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> , CO
Entrada de Combustible (MMBtu/hr)	0,1	0,8	2,0	1,9	2,0	14,8
Costo total instalado \$USD/kW	5500	3500	3600	4500	5000	2800

**Fuentes:** 1) Tecnologías de generación distribuida: Costos y eficiencia, Francisco M. González - Longatt, 2004

2) Micro generación con pilas de combustible a gas natural, A.Mª Gutiérrez, Coordinador de Proyectos de Desarrollo y Tecnología de la Sociedad de Gas Euskadi, S.A. (Grupo EVE)



**Figura 5. 3** Pila o celda de combustible

**Fuente:** Cogeneración de pequeña potencia, Fundación Asturiana de la energía.

[http://faen.es/nueva/Intranet/documentos/724\\_FAEN\\_GUIA\\_COGENERACION.pdf](http://faen.es/nueva/Intranet/documentos/724_FAEN_GUIA_COGENERACION.pdf)

### 5.2.2 Potencia eléctrica proyectada para la generación [3]

Las tecnologías analizadas anteriormente son ampliamente aplicadas alrededor del mundo, para el caso de las micro turbinas se tiene por ejemplo plantas de generación eléctrica con biogás en Estados Unidos, Francia, España, Finlandia,

Suecia (tecnología Turbec), Alemania (Capstone), etc. Para el caso de los motores de combustión interna, existen proyectos como por ejemplo: Simeprodeso en México, Bandeirantes en Brasil, Maldonado en Uruguay, Central Loma los Colorados en Chile, etc. Finalmente para el caso de las celdas de combustible existen proyectos como: POSCO Power en Corea del Sur, Instalación en el edificio de la Barceloneta en España, Chubu Electric en Japón, Braintree Electric en Boston, etc.

Para determinar la tecnología más adecuada para nuestro proyecto, se ha visto conveniente realizar una matriz de decisión, dicha matriz estará conformada por opciones y criterios; los criterios a considerar son los siguientes:

1. Aplicación a nivel mundial
2. Eficiencia eléctrica
3. Disponibilidad Comercial
4. Costo del kw instalado
5. Costo de mantenimiento
6. Grado de contaminación
7. Consumo de combustible

Para los tres primeros criterios la calificación se ha distribuido de la siguiente manera: alto=5, medio=3 y bajo=1; para los cuatro últimos la calificación será: alto=1, medio=3 y bajo=5.

Los criterios antes mencionados están en función de la potencia eléctrica de los equipos, dependiendo de la tecnología se escogió la potencia que se encuentre más próxima a los 642KW (proyección máxima de potencia instalada en la central).

**Tabla 5. 4** Matriz de decisión

MATRIZ DE DECISIÓN			
CRITERIOS \ OPCIONES	TURBINAS A GAS	MOTOR DE COMBUSTION INTERNA	CELDA DE COMBUSTIBLE
<i>Costo del kW instalado *</i>	3	5	1
<i>Costo de mantenimiento [2]</i>	5	1	3
<i>Grado de contaminación [4]</i>	3	1	5
<i>Consumo de combustible *</i>	1	3	3
<i>Aplicación de la tecnología a nivel mundial [5] [6]</i>	5	5	1
<i>Eficiencia Eléctrica *</i>	1	3	5
<i>Disponibilidad comercial [2] [7]</i>	3	5	1
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>23</b>	<b>19</b>

\*Tabla 5.1, 5.2, 5.3

**Fuente:** Elaboración propia

Una vez analizado las tecnologías, realizado la matriz de decisión y sumado los puntajes en la matriz, se ha optado por utilizar el motor de combustión interna, ya que presenta la mejor calificación en comparación a la turbina de gas y las celdas de combustible.

Para conocer la potencia eléctrica que se puede obtener a partir del biogás generado en el relleno sanitario, lo primero que se debe realizar es convertir la cantidad de volumen de biogás en energía eléctrica, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1 m<sup>3</sup> de Biogás generado en el relleno contiene aproximadamente 50% de metano (CH<sub>4</sub>).
- El valor calorífico del metano (CH<sub>4</sub>) es 10 kWh/m<sup>3</sup>.
- La eficiencia eléctrica de los motores de combustión interna tienen un valor aproximado de un 38%.

Con todas las consideraciones antes mencionadas y aplicando las siguientes fórmulas se obtendrá la energía eléctrica neta:

- El potencial energético de 1 m<sup>3</sup> de biogás será igual :

$$50\% * 10\text{kWh}/\text{m}^3 = 5\text{kWh}/\text{m}^3$$

Con esta fórmula podremos calcular el potencial energético para cualquier volumen de biogás.

Para determinar la potencia eléctrica neta, se multiplica el volumen anual del biogás en  $\text{m}^3/\text{h}$ , el potencial energético del biogás calculado anteriormente y la eficiencia eléctrica de los motores de combustión interna.

$$\text{Potencial eléctrico neto} = \text{Volumen de biogás } (\text{m}^3/\text{h}) * 5\text{kWh}/\text{m}^3 * 0,38$$

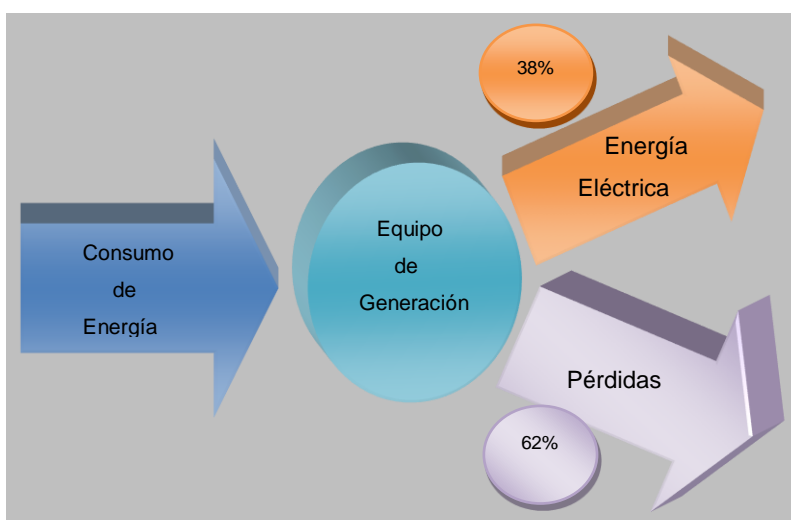
Utilizando los últimos valores de la recuperación del biogás de la Tabla 4.7 del capítulo cuatro, se ha logrado obtener los siguientes valores.

**Tabla 5. 5** Generación de energía eléctrica

Año	Recuperación de Biogás del Sistema Existente/Planeado		Potencial Energético	Potencia Eléctrica Neta
	( $\text{m}^3/\text{min}$ )	( $\text{m}^3/\text{h}$ )		
2008	0,0	0,0	0,0	0,0
2009	0,1	4,5	22,7	8,6
2010	0,2	9,7	48,6	18,5
2011	0,3	15,7	78,3	29,7
2012	0,4	22,5	112,7	42,8
2013	0,5	30,5	152,7	58,0
2014	0,7	39,9	199,7	75,9
2015	1,2	71,4	357,0	135,7
2016	1,5	89,7	448,7	170,5
2017	1,9	111,5	557,3	211,8
2018	2,3	137,3	686,5	260,9
2019	2,8	168,1	840,4	319,4
2020	3,4	204,8	1024,1	389,2
2021	4,1	248,7	1243,5	472,5
2022	5,0	301,2	1505,9	572,2
2023	6,1	364,0	1819,9	691,6
2024	7,3	439,2	2195,9	834,4
2025	6,9	411,5	2057,7	781,9
2026	6,4	385,6	1928,2	732,7
2027	6,0	361,4	1806,8	686,6
2028	5,6	338,6	1693,1	643,4
2029	5,3	317,3	1586,6	602,9
2030	5,0	297,3	1486,7	565,0
2031	4,6	278,6	1393,2	529,4

Año	Recuperación de Biogás del Sistema Existente/Planeado		Potencial Energético	Potencia Eléctrica Neta
	(m3/min)	(m3/h)		
2032	4,4	261,1	1305,5	496,1
2033	4,1	244,7	1223,3	464,9
2034	3,8	229,3	1146,3	435,6
2035	3,6	214,8	1074,2	408,2
2036	3,4	201,3	1006,6	382,5
2037	3,1	188,6	943,2	358,4
2038	2,9	176,8	883,9	335,9
2039	2,8	165,7	828,3	314,7
2040	2,6	155,2	776,1	294,9
2041	2,4	145,5	727,3	276,4
2042	2,3	136,3	681,5	259,0
2043	2,1	127,7	638,6	242,7
2044	2,0	119,7	598,4	227,4
2045	1,9	112,2	560,8	213,1
2046	1,8	105,1	525,5	199,7
2047	1,6	98,5	492,4	187,1
2048	1,5	92,3	461,4	175,3
2049	1,4	86,5	432,4	164,3
2050	1,4	81,0	405,2	154,0

Fuente: Elaboración propia



**Figura 5. 4** Eficiencia Global del sistema de generación (ciclo simple)

Fuente: Elaboración propia

### 5.3 CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS DE LA CENTRAL

A continuación se detallan las principales características eléctricas de las centrales a biogás de relleno.

### 5.3.1 Potencia instalada. [8]

Es la potencia especificada en la placa de cada unidad generadora.

Antes de determinar cuál será la potencia instalada con la cual se pretende arrancar la central, debemos tener en cuenta que las operaciones de los motores de combustión interna son afectadas por la altitud cuando estos superan los 500 m.s.n.m. Una vez superada esta altura se experimenta un devalúo adicional de 1% a 1.5%, por cada 100 m de altitud adicionales. El uso de turbocompresores extra grandes puede reducir este efecto, sin embargo, se espera algún devalúo a una altitud de 1145 m.s.n.m. en el sitio.

Considerando un devalúo de 1,5%, concluimos que a una altura de 1145 m.s.n.m. se tiene un devalúo total de 9%.

Con el propósito de ejemplificar, si arrancamos la generación en el año 2014 con un generador de 60 kWe operando a 1145 m.s.n.m. apenas produciríamos 55 kWe.

La potencia instalada de las centrales eléctricas a biogás aumentará con el pasar de los años, todo esto debido al incremento de biogás que se presenta en los rellenos por la descomposición e incremento de los desechos (en el caso de no finalizar la vida útil del relleno). En nuestro caso, el incremento de la potencia instalada se realizará hasta el año 2023. En los siguientes años la potencia máxima instalada se conservará un cierto periodo y luego irá disminuyendo.



Para fines de estudio económico consideraremos que la vida útil de la central es de aproximadamente 20 años <sup>36</sup>, razón por la cual la potencia instalada para los posteriores años se distribuirá de la siguiente manera:

**Tabla 5. 6** Potencia instalada para los próximos 20 años

Potencia Instalada (Kw)	Periodo (20 años)
60 <sup>1</sup>	2014-2016
254 <sup>2</sup>	2017-2019 <sup>3</sup>
448 <sup>2</sup>	2020-2022 <sup>3</sup>
642 <sup>2</sup>	2023-2032 <sup>3</sup>
448 <sup>2</sup>	2033-2034 <sup>3,*</sup>

**Fuente:** Elaboración Propia

1 Inicialmente empezaremos con un grupo electrógeno de 60kW que ofrece la empresa MOPESA.

2 Incrementando un grupo electrógeno de 194kW que ofrece la empresa CATERPILLAR.

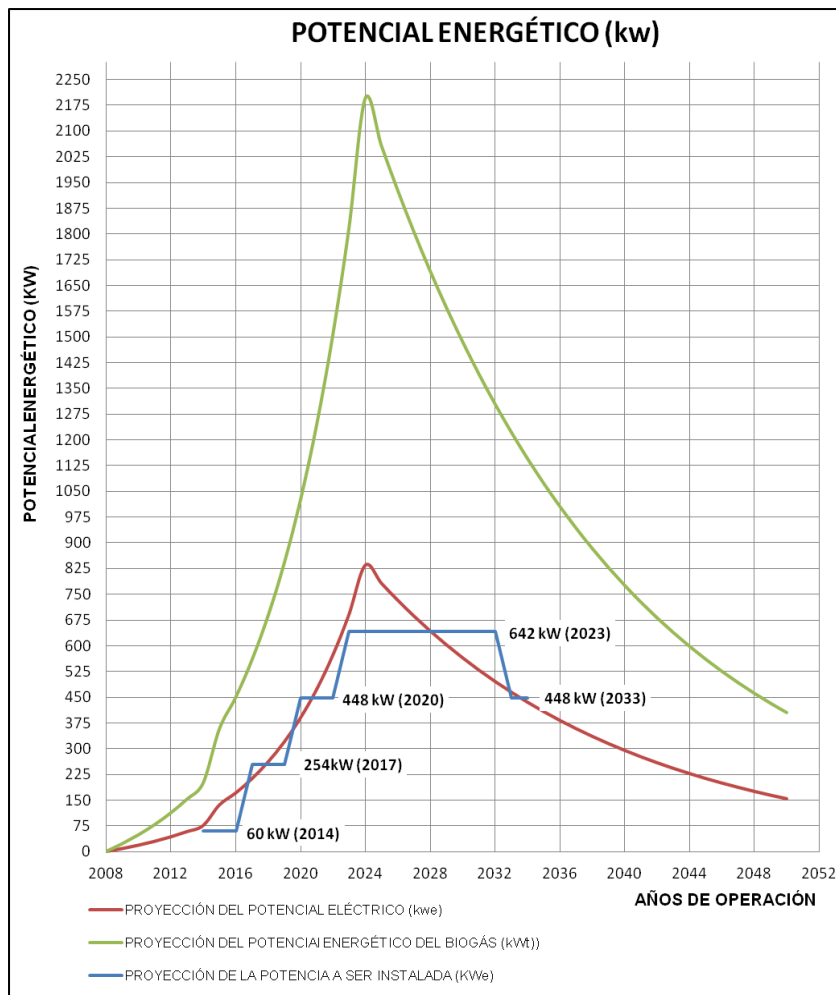
3 Los grupos electrógenos considerados en el numeral dos, inicialmente entraran a operar al 70% de su capacidad.

\* Desde el año 2034 la central seguirá operando hasta cuando los operadores crean conveniente paralizar la operación

Se proyecta arrancar la operación en el año 2014 empleando un generador de 60 kw, dicho generador trabajará al 100% de su capacidad nominal, luego en el 2017 se incrementará un generador de 194 kw, que sumando al anterior se tendría una potencia instalada de 254 kw, el generador de 194kw operara inicialmente al 70% de su capacidad (en ese año existirá energía para operar solo 195kw,  $195\text{kw}=60\text{kw}+0.7\cdot 194\text{kw}$ ), con el pasar de los años se irá incrementando la potencia de generación hasta que el generador llegue a operar al 100% de su capacidad. Para las próximas ampliaciones de generación se realiza el mismo procedimiento, en la figura 5.5 se puede observar la proyección del potencial energético del biogás, potencial eléctrico y la potencia a ser instalada.

---

<sup>36</sup> Costes de la generación en algunas tecnologías, J. M<sup>a</sup>. Marcos Fano, Jefe de División de Energía Hidroeléctrica y Régimen Especial, UNESA



**Figura 5. 5** Potencial Energético

Fuente: Elaboración propia

Como toda maquinaria requiere de mantenimiento, especialmente los motores de combustión interna, este mantenimiento se vería reflejado en las horas de operación disponibles al año de los motores reduciéndose a un 85%; lo que quiere decir que se puede tener operando a carga llena durante 7.466 horas al año.

### 5.3.2 Factor de planta [9]

El factor de planta es un indicador que permite estudiar la viabilidad técnica-económica para la implementación de un proyecto de generación de energía

eléctrica, debido que permite estimar la cantidad de energía que se podrá generar con una central. Si bien este valor puede variar por contingencias inesperadas en la generación (sobreproducción o subproducción), en la mayoría de los casos toma un valor relativamente fijo para cierto tipo de centrales. En estricto rigor, el factor de planta es la relación entre la energía eléctrica producida por un generador o conjunto de generadores durante un intervalo de tiempo determinado, y la energía que habría sido producida si este generador o conjunto de generadores hubiese funcionado durante el mismo intervalo a su potencia máxima posible. El factor de planta se expresa en porcentaje y su fórmula es la siguiente:

$$F_p = \frac{\text{Pot med central}}{\text{Pot max central}} \leq 1$$

En la tabla 5.7 se puede observar los valores promedios de factor de planta para las distintas tecnologías.

**Tabla 5. 7** Factor de planta de las centrales de Energías Renovables

Tecnología	Factor de Planta
Hidroeléctrica	0,6
Eólica	0,3
Geotérmica	0,9
Solar	0,25
Biomasa y Biogás	0,85
Mareomotriz (olas)	0,4

**Fuente:** Ley de fomento a las ERNC, Breve evaluación económica y determinación de viabilidad de las distintas tecnologías de ERNC para el caso Chileno con la nueva ley de energías renovables, Hernán Ulloa, 2008.

Para el caso específico de las centrales a biomasa o biogás, se puede observar que tiene un valor promedio superior a las otras tecnologías, salvo la geotérmica.

### 5.3.3 Potencia firme [9]

La potencia firme es la máxima potencia que se puede generar a un nivel muy elevado de seguridad, incluso en periodos críticos (como las horas punta que son los momentos con mayor demanda eléctrica); considerando la posible escasez de los insumos necesarios que pudiese existir.

Las energías renovables, salvo la geotérmica y de biomasa, presentan una impredecible fluctuación natural (por ejemplo en el caso de la energía eólica, hay meses del año durante los cuales no hay viento y los aerogeneradores se mantienen paralizados); por esta razón la garantía de potencia firme de algunas centrales de energía renovable es muy baja.

A continuación se presenta una tabla en la cual se puede observar valores promedios de potencia firme de las distintas tecnologías, considerando un factor de planta de 0,7.

**Tabla 5. 8** Potencia firme de las centrales de Energías Renovables

Tecnología	Potencia Firme (Fp=0,7)
Hidroeléctrica	0,42
Eólica	0,21
Geotérmica	0,63
Solar	0,175
Biomasa y Biogás	0,595
Mareomotriz (olas)	0,28

**Fuente:** Ley de fomento a las ERNC, Breve evaluación económica y determinación de viabilidad de las distintas tecnologías de ERNC para el caso Chileno con la nueva ley de energías renovables, Hernán Ulloa, 2008.

En algunos países como por ejemplo Chile, existe una remuneración para las centrales eléctricas con energías renovables por garantizar potencia firme, en el caso de Ecuador esto no sucede.

### 5.3.4 Producción energética media anual

Considerando la potencia instalada, las horas anuales de operación y el factor de planta de la central podremos calcular la energía media anual.

$$\text{Produccion energetica anual} = \text{potencia instalada} * 7466 \text{ horas} * 0,85$$

En la siguiente tabla se puede observar la producción energética para los próximos 20 años, que es el tiempo promedio de vida útil estimada de las centrales a biomasa y biogás.

**Tabla 5. 9** Producción de energía eléctrica media anual

Potencia instalada [kw]	Años de operación	MWh al año
60	2014	0,00
-	2015	380,77
-	2016	380,77
254	2017	380,77
-	2018	1611,91
-	2019	1611,91
448	2020	1611,91
-	2021	2843,05
-	2022	2843,05
642	2023	2843,05
-	2024	4074,20
-	2025	4074,20
-	2026	4074,20
-	2027	4074,20
-	2028	4074,20
-	2029	4074,20
-	2030	4074,20
-	2031	4074,20
-	2032	4074,20
448	2033	4074,20
-	2034	2843,05

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.5 Características técnicas del generador [10]

Considerando que actualmente en el relleno sanitario se utiliza un grupo electrógeno a diesel con capacidad de generación eléctrica de 44kW y 50kVA, se ha llegado a determinar que se podría empezar a generar desde el año 2014, ya que con esa cantidad de energía se podría cubrir la demanda energética de los equipos del centro de gestión de Minas de Huascachaca.

El generador antes mencionado se podría adaptar para que trabaje con una mezcla de biogás y diesel, pero debido a que la eficiencia disminuye considerablemente, se ha optado por un grupo electrógeno ofertado por la empresa MOPESA cuyas características son las siguientes:

**Tabla 5. 10** Características técnicas del motor y el generador de energía.

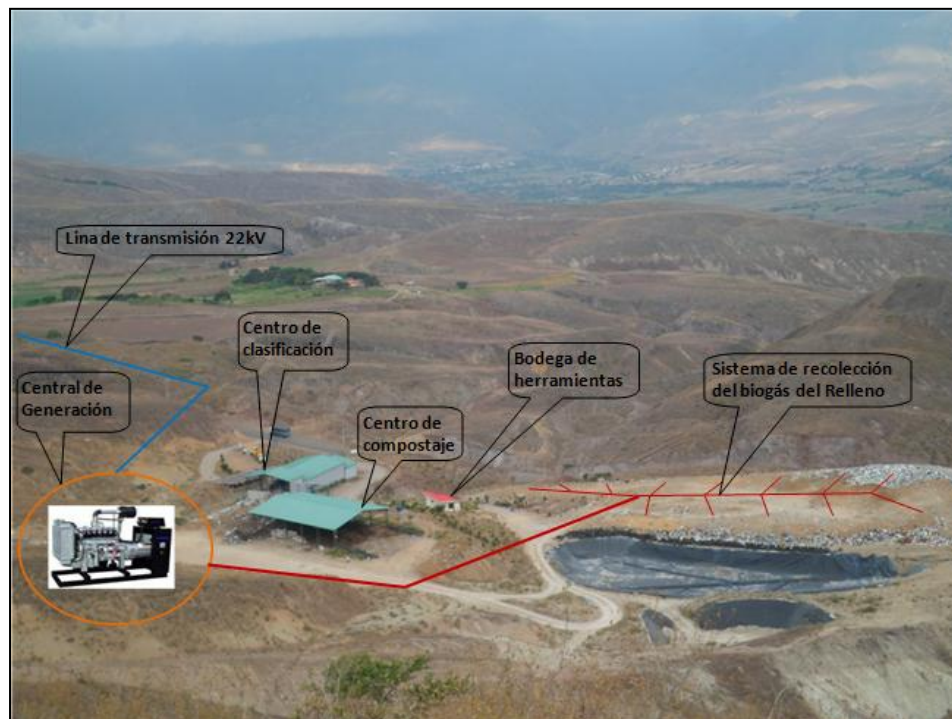
<b>Generador:</b>	WEG línea G de 60 kw
<b>Capacidad del generador:</b>	60 kw
<b>Voltaje generado:</b>	220 / 440 volts
<b>Factor de potencia:</b>	0.8
<b>Frecuencia (hz):</b>	60
<b>RPM del motor :</b>	1,800 rpm
<b>Fases:</b>	3
<b>Hilos:</b>	4
<b>Ciclo de operación:</b>	Continuo y/o intermitente
<b>Régimen de sobrecarga:</b>	10% hasta 2 horas c/24 horas
<b>Motor:</b>	<b>TUG6.354.4</b>
<b>Potencia:</b>	90 bhp @ 1,800 rpm
<b>Número de cilindros:</b>	6 en línea
<b>Desplazamiento cúbico:</b>	5.8 litros
<b>Tiempos:</b>	4
<b>Aspiración:</b>	Natural
<b>Tipo de combustible:</b>	biogás
<b>Gobernación:</b>	4% electrónica
<b>Enfriamiento:</b>	50% Agua y 50% anticongelante
<b>Sistema eléctrico:</b>	12v
<b>Sistema de combustión:</b>	Omnitek
<b>Tipo de encendido:</b>	Electrónico

**Fuente:** Plantas eléctricas a Biogás, MOPESA.

<http://www.mopesa.com.mx/>

## 5.4 UBICACIÓN ESTRATÉGICA DE LA CENTRAL.

La planta de generación eléctrica se emplazaría sobre un sector adyacente al centro de compostaje (Ver gráfico 5.6), en ese sitio existe un espacio adecuado para construir la central.



**Figura 5. 6** Centro de Gestión de Residuos Sólidos

Fuente: Elaboración propia

## 5.5 CONEXIÓN A LA RED [11] [10]

Las centrales de generación pueden engancharse al Sistema Nacional de Transmisión, al sistema de algún distribuidor cercano, o a un sistema aislado; en nuestro caso existe dos posibilidades:

1. Debido que por las inmediaciones del Relleno no existe una red de distribución de energía eléctrica trifásica, la EMMAICJ-EP firmó un convenio



de cooperación entre la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A, el 12 de agosto del 2008, para ejecutar el diseño de la línea de media tensión para dotar de servicio de energía eléctrica a la planta de desechos sólidos. El costo del diseño estaba estimado en mil seiscientos cincuenta y ocho Dólares de Estados Unidos, cuyo valor estaría financiado por los aportes de los comparecientes, divididos de la siguiente manera.

"La Empresa Pública Municipal", 70 %	\$.	1.160,67
"La Centrosur", 30 %		<u>497,43</u>
Total:		1.658,10

Una vez realizado los estudios por parte de la E.E.R.C.S, se ha llegado a determinar que el presupuesto para realizar el tendido de red trifásica hasta el centro de gestión tenía un costo aproximado de ciento treinta mil Dólares de Estados Unidos (\$ 130.000 USD), costo que EMMAICJ-EP no estaba en capacidad de cubrir, por ello decidió adquirir un grupo electrógeno a diesel, de 50 KVA, mismo que estaba valorado en diecisiete mil Dólares de Estados Unidos (\$ 17.000 USD).

La línea de transmisión proyectada para el relleno, recorrería aproximadamente 12 km desde el cantón de Santa Isabel, a un nivel de tensión de 22kV.

2. La siguiente ruta dependerá de la factibilidad del proyecto eólico de Minas de Huasachaca propiedad de ELECAUSTRO. Este proyecto constará con una subestación de elevación ubicada cerca de la población de Uchucay, la misma que permitirá incrementar el nivel de tensión a 138 kV y mediante una línea de transmisión permitirá la conexión a la línea de transmisión Cuenca-Loja propiedad de la empresa CELEC-EP-Transelectric.

Por ello para conectarse a la barra de 138kV del proyecto eólico de Minas de Huasachaca se tiene que considerar en el proyecto de generación a biogás una subestación de elevación a 138kV y una línea de transmisión trifásica que recorra una distancia aproximada de 4km.

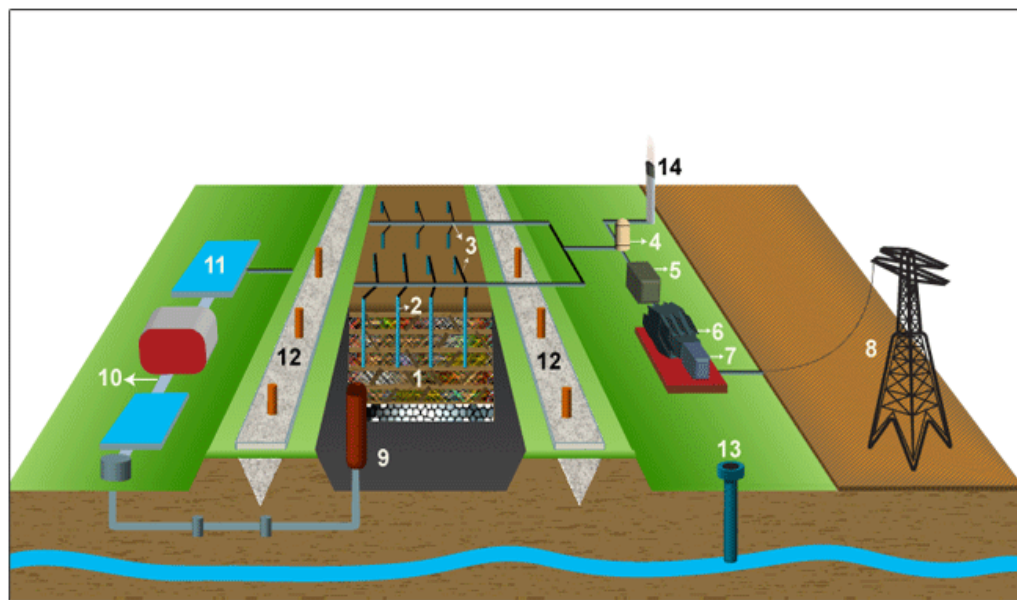


En nuestro caso se realizará el estudio considerando la primera opción, todo ello debido que es una ruta que abastecerá directamente de energía eléctrica a una población, en este caso al cantón Santa Isabel.

## 5.6 ESQUEMA TÉCNICO DE UNA CENTRAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN UN RELLENO SANITARIO. [12]

Los rellenos sanitarios son construidos especialmente para minimizar la contaminación ambiental, pero, como se ha explicado, también se pueden aprovechar para capturar el biogás generado en el sitio y producir energía eléctrica, la misma que permitirá cubrir las demandas presentes en el lugar y, si es posible, se puede suministrar al S.N.I., todo ello dependerá de la producción de biogás.

A continuación se detallan los elementos que pueden estar presentes en un relleno sanitario utilizado para generar energía eléctrica:



**Figura 5. 7** Esquema tecnológico de un relleno sanitario

**Fuente:** Producción de biogás a partir de la basura, Esquema tecnológico, SAGARPA.

### **a) Manejo del gas**

- 1.- El relleno sanitario se forma de celdas de basura comprimida y sellada por capas de tierra u otros materiales.
- 2.- En el relleno se hacen pozos para extraer el gas.
- 3.- Los pozos están unidos por una red de tubería que transporta el gas hasta la planta de quemado.
- 4.- El gas debe pasar por un condensador (y en ocasiones por otros equipos) para retirar de él la humedad.
- 5.- En la tubería existe una bomba de aire que extrae el gas y lo lleva hasta la planta de quemado.
- 6.- El gas llega a la planta de quemado en donde se incinera. Esta planta puede tener equipo adicional para purificar el metano, separando de él más humedad, bióxido de carbono y otras impurezas.
- 7.- El moto generador se activa con el gas y hace girar el alternador, con el giro del alternador se produce energía eléctrica, la energía se transmite a una subestación de elevación (transformadores incrementan el voltaje con la finalidad de disminuir las pérdidas técnicas que se presentan en la transmisión).
- 8.- Finalmente la energía generada se incorporara a la red eléctrica para ser distribuida a los distintos tipos de consumidores.

### **b) Manejo de los líquidos (lixiviados)**

- 9.- Los líquidos se drenan mediante un sistema de tuberías y bombas.
- 10.- Los lixiviados son llevados a una planta de tratamiento que retira de ellos buena parte de sus contaminantes.
- 11.- Los líquidos se reciclan al relleno para facilitar la descomposición de la materia orgánica.

### **c) Manejo de riesgos**

12.- Barrera de monitoreo de filtraciones de gas a través del suelo: foso de grava con puntos de monitoreo.

13.- Pozo de monitoreo de aguas subterráneas.

14.- Antorcha de emergencia, para quemar el gas cuando la planta generadora de energía no pueda emplearlo (como por ejemplo, cuando recibe mantenimiento).

Una vez que se ha establecido el sistema de generación, la posibilidad de que el proyecto en estudio sea viable y permita generar energía eléctrica para luego engancharse a la red y venderla al Sistema Nacional Interconectado dependerá mucho de los resultados del análisis económico, el mismo que se realiza en el capítulo siguiente.

## 5.7 REFERENCIAS:

- [1] Cogeneración de pequeña potencia, Fundación Asturiana de la energía.  
[www.faen.es](http://www.faen.es)
- [2] Tecnologías de generación distribuida: Costos y eficiencia, Francisco M. González - Longatt,
- [3] Biogás: Un combustible Sustentable, El caso del Relleno Sanitario y Central Loma los Colorados, Kdm energía S.A., julio 2010.  
[www.kdm.cl](http://www.kdm.cl)
- [4] Tecnologías motriz primario para la poligeneración, Carlos Rubio Maya, Javier Uche Marcuello, Fundación CIRCE, Julio 2008.
- [5] Pilas de combustible en EDAR, Nicolás de Arespacochaga, Sergio Gutiérrez, Álex Hornero, 30 de Julio del 2012.
- [6] Estudio de viabilidad de sistemas de purificación y aprovechamiento del biogás, Capítulo 6. Microturbinas, Elena Jiménez, Elisabet Gonzales, 31 de marzo de 2010.
- [7] Guía básica de generación distribuida, Fundación de la energía de la comunidad de Madrid.



[www.fenercom.com](http://www.fenercom.com)

**[8]** Glosario de términos, CONELEC.

[www.conelec.gob.ec](http://www.conelec.gob.ec)

**[9]** Informe quincenal de la snmpe, Potencia Instalada, Efectiva y Firme.

[www.snmpe.org.pe/](http://www.snmpe.org.pe/)

**[10]** EMMAIC-EP

[www.emmaicj.gob.ec/](http://www.emmaicj.gob.ec/)

**[11]** Proyecto eólico Minas de Huaschachaca, Elecaustro.

[www.elecaustro.com.ec/](http://www.elecaustro.com.ec/)

**[12]** Producción de biogás a partir de la basura, Esquema tecnológico, SAGARPA.

[http://www.campomexicano.gob.mx/bioener/index.php?option=com\\_content  
&view=article&id=65&Itemid=71](http://www.campomexicano.gob.mx/bioener/index.php?option=com_content&view=article&id=65&Itemid=71)

## CAPÍTULO 6

### ANÁLISIS ECONÓMICO

Como parte complementaria del estudio técnico, en este capítulo vamos a abordar el tema económico que implica instalar la central eléctrica a biogás en el sitio antes mencionado. Los principales objetivos del análisis es determinar el monto total de recursos económicos que serán necesarios para que el proyecto entre en funcionamiento y también definir la factibilidad del proyecto. Para ello, analizaremos los posibles ingresos, egresos y rentabilidad económica que presente el mismo.

#### 6.1 FLUJO DE CAJA

El estudio de flujo de caja es uno de los puntos más importantes a la hora de evaluar un proyecto de inversión. La construcción del flujo de caja es la proyección del comportamiento de los ingresos y egresos de un proyecto a lo largo del tiempo.

El objetivo de la proyección del flujo de caja es medir la rentabilidad económica de un proyecto y la capacidad de pago frente a los posibles préstamos que se solicitarían para el financiamiento.

El flujo de caja se puede calcular para cualquier periodo, en nuestro caso consideraremos un lapso de 20 años, que es el tiempo promedio de vida útil considerado para este tipo de centrales.

### 6.1.1 Costos del proyecto

Al desarrollar un proyecto se presenta varios tipos de costos, el análisis y la determinación de estos costos son muy importantes debido que intervienen en la toma de decisión de un proyecto.

#### 6.1.1.1 Costos de inversión

Para determinar el costo total de inversión que requiere el proyecto para entrar en operaciones, será necesario analizar el costo (USD) del Kw instalado de centrales eléctricas que tengan características similares al estudio que actualmente se está realizando, estos valores nos darán una pauta de cuánto sería el costo inicial y futuro que tendríamos que invertir en nuestra central.

**Tabla 6 . 1** Costos referenciales en USD por kW instalado.

Ubicación	Costo (USD/KW)
México	600-1170 <sup>37</sup>
A nivel Mundial	1700-2000 <sup>38</sup>
Ecuador (Cuenca)*	1188 <sup>39</sup>

\*Relleno sanitario de Pichacay, capacidad de generación 2MW, costo de inversión 2.377.438 dólares.

**Fuente:** Elaboración propia

La determinación del costo total del proyecto será analizada de dos maneras diferentes:

1. En este caso, debido a que se trata de un proyecto en el país, consideraremos el costo del kW instalado del estudio realizado para el

<sup>37</sup> Energía renovable para el desarrollo sustentable en México, Mensaje del secretario de energía, Lic. Felipe Calderón Hinojosa.

<sup>38</sup> Evaluación de las energías renovables no convencionales factibles de desarrollarse en el Ecuador.

<http://dspace.epn.edu.ec/bitstream/15000/9052/4/t11431cap4.pdf>

<sup>39</sup> EMAC inicia proceso de captación de biogás para convertirlo en energía eléctrica, martes 21 agosto 2012, <http://www.cuenca.gov.ec/?q=node/11257>

Relleno de Pichacay (2008), y la posible potencia instalada para la central en estudio, en el año 2023. Con esta información procedemos a calcular la inversión total final.

$$\text{Inversión Total Final} = \text{Costo del kW instalado} * \text{Potencia Instalada}$$

$$\text{Inversión Total Final} = 1188(\text{USD}) * 642\text{kW} = 762.696 \text{ USD}$$

Desarrollando la ecuación anterior se determina que para una potencia máxima instalada en el año 2023 de 642 kW, el costo de inversión asciende a 762.696 USD.

2. En el siguiente caso se analiza de manera más detallada el costo de inversión del proyecto. Para la obtención de los posibles costos de inversión se consideró las fuentes [3] y [4] citadas en la bibliografía del presente capítulo, dando prioridad a la fuente [3]. El propósito de utilizar en mayor parte esta referencia es debido que es un estudio relativamente reciente y realizado para emplazar una central eléctrica en el Relleno Sanitario del Pichacay, ubicado en la provincia del Azuay.

En la tabla 6.2 se puede observar la inversión inicial y futura del proyecto en estudio.

**Tabla 6.2** Costos de inversión inicial y futuro del proyecto

COSTOS DEL PROYECTO			
Descripción	VALOR	UNIDAD	TOTAL
<b>Inversión inicial (2014-2016)</b>			
Sistema de extracción del biogás*	\$ 1.024,12	USD/kW	\$ 61.447,14
Generación: 60,00 kW	\$ 520,00	USD/kW	\$ 31.200,00
Transformadores, Interruptores y mediciones*	\$ 36.000,00	USD	\$ 36.000,00
Ingeniería civil e instalaciones**	\$ 50.000,00	USD	\$ 50.000,00
Conexión a la Red***	\$ 130.000,00	USD	\$ 130.000,00
Contingencia	10%	% de la inversión	\$ 30.864,714
<b>Total inicial</b>			<b>\$ 339.511,85</b>
<b>Expansión (2017-2020)</b>			
Generación: 194,00 kW	\$ 520,00	USD/kW	\$ 100.880,00

COSTOS DEL PROYECTO			
Descripción	VALOR	UNIDAD	TOTAL
Sistema de expansión de gas	\$ 25000,00	USD/año	\$ 50.000,00
Transformadores, Interruptores y mediciones*	-	USD	-
Contingencia	10 %	% de la inversión	\$ 15.088,00
<b>Total Expansión 1</b>			<b>\$ 165.968,00</b>
<b>Expansión (2020-2022)</b>			
Generación: 194,00 kW	\$ 520,00	USD/kW	\$ 100.880,00
Sistema de expansión de gas	\$ 25000,00	USD/año	\$ 50.000,00
Transformadores, Interruptores y mediciones*	-	USD	-
Contingencia	10 %		\$ 15.088,00
<b>Total expansión 2</b>			<b>\$ 165.968,00</b>
<b>Expansión (2023)</b>			
Generación: 194,00 kW	\$ 520,00	USD/kW	\$ 100.880,00
Sistema de expansión de gas	\$ 25000,00	USD/año	\$ 50.000,00
Transformadores, Interruptores y mediciones*	-	USD	-
Contingencia	10 %	% de la inversión	\$ 15.088,00
<b>Total expansión 3</b>			<b>\$ 165.968,00</b>
<b>Inversión Final total 2023</b>			<b>\$ 837.415,85</b>

Fuente: Elaboración propia

\* Costo calculado para 1 MW de potencia

\*\*Considerando que los costos son similares a la central en estudio

\*\*\*Estudios realizados por la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur para una línea de transmisión Relleno Sanitario -Santa Isabel (2008)

Si observamos detenidamente el resultado de los dos análisis, podemos ver que los valores no difieren mucho; pero para propósitos de evaluación económica utilizaremos el segundo análisis.

### 6.1.1.2 Costos por operación y mantenimiento [3]

Los costos referenciales para la operación y mantenimiento de la central eléctrica, salvo la inflación anual; han sido tomados directamente del estudio realizado para



el relleno el Valle en Cuenca-Ecuador, la razón fundamental es debido que tiene una potencia instalada de 350 kW cuyo valor está en la escala de la central analizada en esta tesis:

**Tabla 6.3** Costos por operación y mantenimiento

Costos de operación	Valor	Descripción
Trabajos en el sistema de gas y generación	\$ 10.000	USD/año
Seguro	\$ 10.000	USD/año
Sistema de mantenimiento de gas	5 %	% anual del costo inicial
Costos de operación de equipo de generación	\$ 0,0173	USD el Kw/h exportado
Costos misceláneos	\$ 2	USD por hora operada
Inflación anual <sup>40</sup>	3.03 %	% de inflación anual

Fuente: Elaboración propia

## 6.1.2 Ingresos

En este punto vamos a analizar los posibles ingresos que podemos obtener al poner en funcionamiento una central de generación eléctrica de tipo renovable en el Ecuador, en el presente caso, a partir del biogás. Para ello, es posible obtener ingresos por venta de energía y por venta de bonos de carbono, a continuación se analizará cada uno de ellos.

### 6.1.2.1 Venta de energía [5]

Los principales ingresos que tiene una central eléctrica son los ingresos por venta de energía. En el Ecuador, de acuerdo a lo regulado por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), el precio a reconocer por venta de energía renovable proveniente de la biomasa y biogás, para centrales eléctricas menores a 5 MW medido en el punto de entrega es de \$11,05 cUSD/kWh<sup>41</sup>. A pesar de que la regulación emitida por el CONELEC terminó su vigencia en diciembre de 2012, en el presente caso se ha mantenido el valor establecido, a efectos de cálculo de los ingresos correspondientes.

<sup>40</sup> Inflación anual del 30 de abril del 2013, Banco Central del Ecuador.

<http://www.bce.fin.ec>

<sup>41</sup> Regulación No. CONELEC – 004/11

Con este valor podemos calcular ingresos por venta de energía media anual de la central a biogás para los próximos 20 años.

**Tabla 6.4 Ingresos por venta de energía**

Potencia instalada [kW]	Años de operación	MWh al año	Venta de energía \$ (USD)
<b>60</b>	2014	0,0	0,0
-	2015	380,8	42.074,6
-	2016	380,8	42.074,6
<b>254</b>	2017	380,8	42.074,6
-	2018	1.611,9	178.116,0
-	2019	1.611,9	178.116,0
<b>448</b>	2020	1.611,9	178.116,0
-	2021	2.843,1	314.157,3
-	2022	2.843,1	314.157,3
<b>642</b>	2023	2.843,1	314.157,3
-	2024	4.074,2	450.198,7
-	2025	4.074,2	450.198,7
-	2026	4.074,2	450.198,7
-	2027	4.074,2	450.198,7
-	2028	4.074,2	450.198,7
-	2029	4.074,2	450.198,7
-	2030	4.074,2	450.198,7
-	2031	4.074,2	450.198,7
-	2032	4.074,2	450.198,7
<b>448</b>	2033	4.074,2	450.198,7
-	2034	2.843,1	314.157,3
<b>Ingreso total por venta de energía</b>			<b>6.419.188,0</b>

Fuente: Elaboración propia

### 6.1.2.2 Vigencia de los precios

Según la Regulación No. CONELEC – 004/11, con su modificación en la Resolución N° 017/12 (2012) “los precios establecidos en esta Regulación se garantizarán y estarán vigentes por un período de 15 años a partir de la fecha de suscripción del título habilitante, para todas las empresas que hubieren suscrito

dicho contrato hasta el 31 de diciembre de 2012”. Concluido el periodo de vigencia por venta de energía de estas centrales, se negociará con la normativa vigente a esa época.

Para fines de estudio económico se considera que la central en estudio suscribirá un contrato en condiciones similares a las establecidas en la regulación, por 20 años a partir de la fecha establecida (2014) y que perdurará hasta el año 2033.

### **6.1.2.3 Venta de bonos de carbono (CERS)**

Antes de determinar los ingresos por ventas anuales de bonos de carbono, explicaremos de forma breve en qué consiste el Protocolo de Kioto, el ciclo de un proyecto de Bonos de Carbono, y también presentaremos un historial de precios de CERs.

#### **6.1.2.2.1 Protocolo de Kioto [5]**

*Fue firmado en el año 1997 por más de 180 países en el marco de las negociaciones en el seno de la ONU, este primer tratado internacional de lucha contra los cambios climáticos entró en vigor en el 2005. Predecía una reducción de las cantidades de gas de efecto invernadero emitidas por los países industrializados de al menos un 5,2% hasta el 2012, en relación a los niveles de 1990. Los países en desarrollo no están obligados, en cambio, a ninguna reducción pero si incitados a favorecer un crecimiento limpio<sup>42</sup>.*

Los gases considerados como fuertemente responsables del calentamiento global en el protocolo de Kioto son los siguientes:

- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>);
- Metano (CH<sub>4</sub>);

---

<sup>42</sup> Léxico, BIONERSIS, Del biogás a la producción de energía.  
<http://www.bionersis.com>

- Óxido nitroso ( $N_2O$ );
- Hidrofluorocarbonos (HFC);
- Perfluorocarbonos (PFC);
- Hexafluoruro de azufre ( $SF_6$ ).

Como vemos, dentro de estos gases se encuentran el metano y el dióxido de carbono que son los que aportan en mayor cantidad para la conformación del biogás de relleno. Debido a que el metano, como gas de efecto invernadero (GEI), es 21 veces más potente que el  $CO_2$ , al quemar metano para producir energía eléctrica se ayuda a disminuir la contaminación ambiental (por reducción de GEIs) y también se puede satisfacer la demanda de electricidad exigida por las poblaciones aledañas. Por ello, los proyectos que reduzcan emisiones de Gases de Efecto Invernadero implementados en los países en desarrollo, pueden aplicar el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), que es una de las herramientas del protocolo de Kioto, para vender los Certificados de Reducción de Emisiones (CERs) a países industrializados.

El ingreso por venta de bonos de carbono puede ayudar a conseguir fondos para la financiación de un proyecto de energía renovable. Un CER corresponde a un crédito otorgado por la reducción de emisión de una tonelada de  $CO_2$  equivalente ( $CO_{2e}$ )<sup>43</sup>.

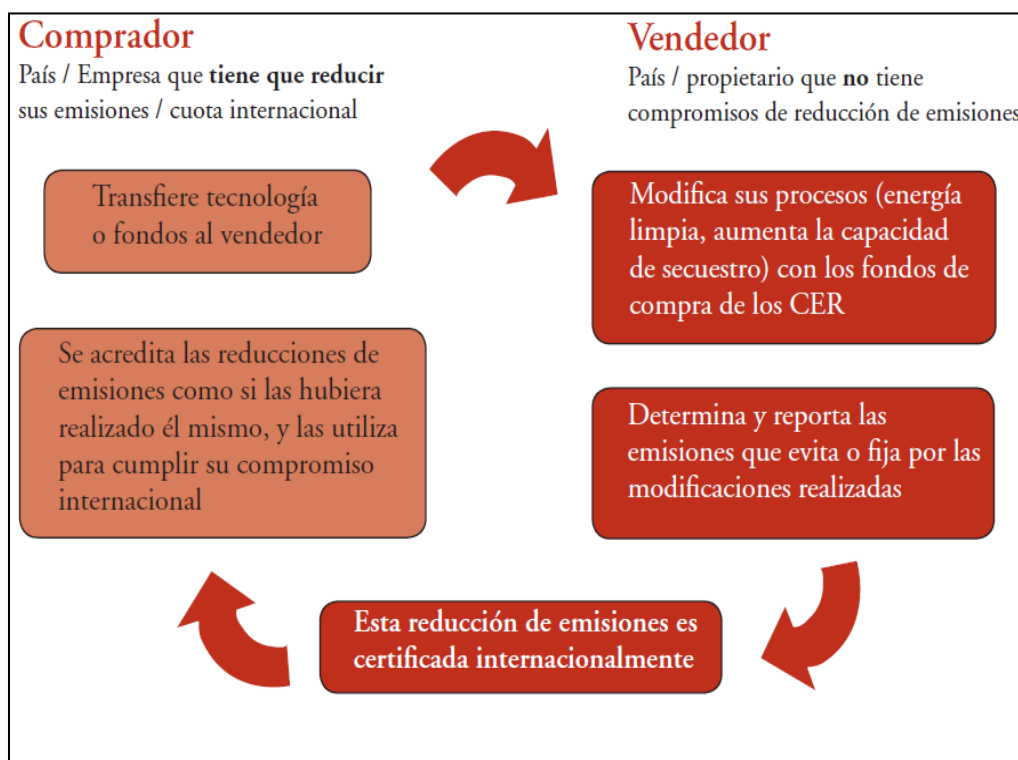
#### 6.1.2.2.2 Ciclo de un proyecto de Bonos de Carbono

Para que exista la venta de bonos carbono dentro del esquema MDL, debe existir un ofertante y un demandante, el ofertante recibirá fondos económicos para ayudar en los gastos del proyecto, mientras que el demandante, que generalmente es una empresa de algún país desarrollado, acredita las reducciones de emisiones

---

<sup>43</sup> Es la unidad de medición universal utilizada para indicar el potencial de calentamiento global de cada uno de los gases de efecto invernadero, en comparación con el dióxido de carbono. Los gases de efecto invernadero distintos del dióxido de carbono son convertidos a su valor de dióxido de carbono equivalente ( $CO_{2e}$  o  $CO_{2eq}$ ). Fuente: E-CO2-Calculadora, <http://www.orcc.es/calculadora/preguntas.htm>

como si las hubiera realizado él mismo y las utiliza para cumplir su compromiso internacional (Ver figura 6.1).



**Figura 6 . 1** Funcionamiento del Mercado: Operación de una Transacción de CERs

**Fuente:** Negocios y Proyectos bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), Manual para Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs), SERCAL, 2007.

#### 6.1.1.2.3 Historial de los precios de los Bonos de Carbono (CERs)

Desde que se puso en marcha el protocolo de Kioto para enfrentar el cambio climático y disminuir la emisión de GEI generada por las grandes industrias a nivel mundial, el precio de los CERs ha sido muy volátil, teniendo una gran caída en el año 2007, en este año alcanzó un valor de \$0,04<sup>44</sup> USD. En el año 2008 el precio de los CERs se recupera, llegando alcanzar como máximo un valor de \$29,75 USD para luego descender en el año 2012 hasta la actualidad, (Ver tabla 6.5).

<sup>44</sup> COMERCIO CO<sub>2</sub>, ¿Cómo se comporta el precio del mercado de CO<sub>2</sub>? ¿Y qué aspectos generales intervienen en la determinación del precio?, SENDECO2.  
<http://www.sendeco2.com>

**Tabla 6 . 5** Precios históricos de los CERs para el periodo 2008-2013

Año Valores*	2008	2009	2010	2011	2012	2013**
Máximo	\$ 29,75	\$ 18,31	\$ 19,16	\$ 17,71	\$ 7,07	\$ 0,43
Mínimo	\$ 16,98	\$ 9,87	\$ 14,42	\$ 5,23	\$ 0,20	\$ 0,09
Promedio	\$ 23,00	\$ 15,72	\$ 16,59	\$ 13,12	\$ 3,92	\$ 0,21

**Fuente:** Sistema electrónico de negociación de derechos de Emisión de Dióxido de Carbono, Precios CO<sub>2</sub>, SENDECO<sub>2</sub>.

<http://www.sendeco2.com>

\* Precios anuales de los CERs expresados en USD/ton CO<sub>2e</sub>

\*\*Considerando los meses entre enero-abril.

Como se puede observar en la tabla 6.5, el precio de los CERs en el periodo 2008-2012 desciende bruscamente en el año 2012 por la recesión económica que sufre la Unión Europea desde el año 2009. Actualmente en el primer trimestre del año 2013, el precio de los CERs todavía se mantiene devaluado, llegando como máximo a \$0,43 USD.

A pesar de que el precio podría recuperarse, la situación no mejoraría al menos hasta 2020. Según Barclays, *“el precio promedio estimado para los CER en 2012 y 2013 será de cuatro euros, y de siete euros para 2014. Hasta el 2020, esto se acercaría a 10 euros por tonelada de CO<sub>2</sub>”*.<sup>45</sup>

#### 6.1.2.2.4 Venta de certificados de reducción de emisiones (CERs)

Para calcular las reducciones de emisiones en cada año se considera la siguiente formula.

$$T_{CO_2eq} = EF_{grid} * MWh$$

Dónde:

<sup>45</sup> Precio de bonos de carbono baja 80% por crisis europea y sobreoferta de proyectos, La tercera (papel digital), Antonio Astudillo M, 26 de marzo 2012.

$T_{CO_2eq}$  = Reducción de emision en toneladas equivalentes de dióxido de carbono

$EF_{grid}$  = Factor de emision de red para el Ecuador = 0,6069 tCO<sub>2</sub>/MWh<sup>46</sup>

MWh = Número total de megavatios hora exportados a la red

Una vez determinado los MWh producidos al año y conocido el factor de emision del sistema nacional interconectado, procedemos a calcular las toneladas de CO<sub>2</sub> reducidas anualmente por la quema de biogas para producir energía eléctrica. A pesar que el factor de emision se determina anualmente, en el presente estudio se lo considera constante (valor del 2012).

En la tabla 6.6 se puede observar las toneladas de CO<sub>2e</sub> reducidas al año y los ingresos por venta de certificados de reduccion de emisiones de CO<sub>2</sub> (CERs). Para efectuar esta tabla se ha considerado que el precio de los CERs tendra un valor constante de siete euros que equivale a \$9, 21 USD.

**Tabla 6. 6** Ingreso por venta de bonos de carbono (CERs)

Potencia instalada [kW]	Años de operación	MWh al año	Toneladas anuales de reducción de CO <sub>2e</sub> *	Ingresos por bonos de carbono (USD)**
<b>60</b>	2014	0,0	0,0	0,0
-	2015	380,8	231,1	2129,7
-	2016	380,8	231,1	2129,7
<b>254</b>	2017	380,8	231,1	2129,7
-	2018	1611,9	978,3	9015,7
-	2019	1611,9	978,3	9015,7
<b>448</b>	2020	1611,9	978,3	9015,7
-	2021	2843,1	1725,4	15901,7
-	2022	2843,1	1725,4	15901,7
<b>642</b>	2023	2843,1	1725,4	15901,7
-	2024	4074,2	2472,6	22787,7
-	2025	4074,2	2472,6	22787,7
-	2026	4074,2	2472,6	22787,7
-	2027	4074,2	2472,6	22787,7
-	2028	4074,2	2472,6	22787,7
-	2029	4074,2	2472,6	22787,7
-	2030	4074,2	2472,6	22787,7

<sup>46</sup> Factor de emisión del Sistema Nacional Interconectado al año 2012, Comisión Técnica de Determinación de Factores de Emisión de Gases de Efecto Invernadero, Ministerio del ambiente del Ecuador , CONELEC, CENACE, MEER.

Potencia	Años de	MWh al	Toneladas anuales de	Ingresos por bonos de
-	2031	4074,2	2472,6	22787,7
-	2032	4074,2	2472,6	22787,7
<b>448</b>	2033	4074,2	2472,6	22787,7
-	2034	2843,1	1725,4	15901,7
<b>Ingreso total por Bonos de Carbono</b>				<b>324919,64</b>

Fuente: Elaboración propia

Precio de los CERs =7€

\*Factor de emisión de red para el Ecuador=0,6069 tCO<sub>2</sub>/MWh

\*\* 1€ (euro) = \$1,316567 USD

## 6.2 RENTABILIDAD ECONOMICA. [6]

Si una persona o empresa invierte dinero en un determinado negocio o proyecto, es porque tienen como propósito generar beneficios económicos que ofrezcan un rendimiento atractivo para quienes invierten. Para conocer si una inversión ofrece rentabilidad económica en el futuro existen varios métodos. En el presente caso se utilizan métodos que toman en cuenta el valor del dinero en el tiempo tales como: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Recuperación del Capital Descontado (PRCD); este último permitirá conocer el tiempo en el cual se recupera la inversión mas no la rentabilidad del proyecto, salvo que se tenga un año determinado para recuperar la inversión.

### 6.2.1 Valor Actual Neto (VAN).

*Es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial<sup>A7</sup>.*

La fórmula es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t} - I_0$$

<sup>47</sup> Página 2013 de la fuente [6]



Dónde.

$VAN = \text{Valor Actual Neto}$

$BN_t$  = Representa el beneficio neto del flujo en el periodo  $t$ ,  $BN_t$  puede tomar valores positivos o negativos

$i$  = Tasa de descuento

$n$  = Representa el numero de periodos sobre el cual se quiere capitalizar la inversion inicial

$I_0$  = Inversion inicial en el momento cero

**Criterios:**

Si  $VAN > 0$  Se acepta el proyecto

Si  $VAN = 0$  La aceptacion o rechazo del proyecto es opcional

Si  $VAN < 0$  Se rechaza el proyecto

**Significado:**

Si  $VAN > 0$ , es porque se ha cumplido con dicha tasa de descuento y además se ha generado una ganancia o beneficio adicional.

Si  $VAN = 0$ , es porque se ha cumplido con dicha tasa de descuento e indica que el proyecto renta justo lo que el inversionista exige a la inversión.

Si  $VAN < 0$  es porque no se ha logrado satisfacer dicha tasa de descuento y se interpreta como la cantidad que falta para que el proyecto rente lo exigido por el inversionista.

Para determinar el valor actual neto de nuestro proyecto, consideraremos la tasa de descuento de un 10%, que es una tasa mucho mayor a la tasa de interés máxima (8,37%) que presenta el Banco Central del Ecuador en estos dos últimos años (2011-2012).

### 6.2.2 Tasa Interna de Retorno (TIR). [6]

*Es la tasa de descuento por la cual el VAN es igual a cero.*

Según Bierman y Esdmit, la TIR, “representa la tasa de interés más alta que un inversionista podría pagar sin perder dinero, si todos los fondos para el financiamiento de la inversión se tomaran prestados y el préstamo (principal e interés acumulado) se pagaran con las entradas en efectivo de la inversión a medida que se fuesen produciendo”. La fórmula para calcular la TIR es la siguiente:

$$\sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^t} - I_0 = 0$$

Dónde.

$BN_t$  = Representa el beneficio neto del flujo en el periodo  $t$ ,  $BN_t$  puede tomar valores positivos o negativos

$r$  = Tasa interna de retorno (TIR)

$n$  = Representa el numero de periodos sobre el cual se quiere capitalizar la inversion inicial

$I_0$  = Inversion inicial en el momento cero

Los criterios tomados en cuenta para aceptar o rechazar el proyecto después de haber calculado el VAN son los siguientes:

Si  $r \geq i$  (tasa de descuento), Se acepta el proyecto

Si  $r < i$  (tasa de descuento), Se rechaza el proyecto

### 6.2.3 Periodo de Recuperación del Capital Descontado (PRCD)

El periodo de recuperación del capital expresa el número de periodos necesarios para recuperar la inversión inicial  $I_0$ , donde cada flujo es descontado con una tasa de interés que representa el costo de oportunidad del inversor.

La fórmula a aplicar es la siguiente:

$$PRCD \rightarrow \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t} = I_0$$

Dónde.

$BN_t$  = Representa el beneficio neto del flujo en el periodo  $t$ ,  $BN_t$  puede tomar valores positivos o negativos

$i$  = Tasa de descuento

$n$  = Representa el numero de periodos en el cual la sumatoria de los flujos netos igualo a  $I_0$

$I_0$  = Inversion inicial en el momento cero

El periodo de recuperación del capital dependerá mucho del tipo y magnitud del proyecto, sin embargo se tiene un rango de referencias comunes como los que se muestra a continuación:

- 1 año (gran rentabilidad)
- 3 años (rentabilidad media)
- 6 años y más (pequeña rentabilidad)

Si se utiliza este método para aceptar o rechazar un proyecto, entonces se escogerá proyectos cuyo periodo de recuperación del capital sea menor o igual que el periodo recuperación establecida como política de la empresa, de lo contrario se rechazará. Por ejemplo, si una empresa pretende recuperar el dinero invertido en 5 años y si el resultado del periodo de recuperación del capital de dicho proyecto es de 8 años; entonces el proyecto será rechazado.

En el Ecuador existen proyectos que tienen periodos de recuperación de capital menores a seis años (rentabilidad media), por ejemplo: para el caso del proyecto de generación eléctrica en el relleno de Pichacay, se estima recuperar la inversión en aproximadamente 4 años<sup>48</sup>; en el caso del parque eólico Villonaco (Loja-Ecuador) el periodo de recuperación de la inversión es de 5 años<sup>49</sup>. Sin embargo,

---

<sup>48</sup> Ing. César Arévalo, jefe técnico de EMAC

<sup>49</sup> Técnicos del parque eólico Villonaco (Información obtenida por los autores de la tesis, durante la visita

en el caso de proyectos de generación eléctrica, estas referencias pudieran analizarse.

### 6.3 RESULTADOS

Después de haber determinado los flujos de caja anuales para un periodo de 20 años, se ha procedido a determinar el Valor Actual Neto, la Tasa Interna de Retorno y el Periodo de Recuperación del Capital Descontado, para distintos escenarios de precio de venta de CERs; los mismos que arrojan los siguientes valores:

**Tabla 6.7** Resultados finales del estudio del proyecto

RESULTADOS			
Costo Capital: \$ 837.415,9 Incluye costos por expansión Inversión inicial: \$	Reducción de emisiones		
	Valor \$ 7,0/Ton	Valor \$ 10,0/Ton	Valor \$ 0,0/Ton
VAN (i=10%)	\$ 1.314.347	\$ 1.363.468	\$ 1.199.733
TIR	26 %	27 %	25%
PRCD	8,7años	8,3 años	9,2 años

Fuente: Elaboración propia

En el anexo A se muestra un ejemplo del modelo financiero realizado para un precio de venta de CERs de siete euros.

En la tabla de resultados se puede observar que para distintos valores de precios de los CERs, tanto el VAN como el TIR cumplen las condiciones previamente establecidas para que un proyecto sea aceptado. Es de destacar que los ingresos por venta de CERs tienen un valor marginal en relación con el ingreso por venta de energía.

En lo que refiere al PRCD, vemos que tiene un periodo de recuperación mayor a seis años, y cuando un periodo de recuperación de la inversión sobrepasa los seis años se le considera como un periodo de pequeña rentabilidad<sup>50</sup>; en todo caso dependerá mucho de la decisión que tomen los inversionistas o dueños del proyecto.

En el próximo capítulo se tratará sobre los impactos sociales, ambientales, económicos y culturales que provoca el desarrollo de un proyecto con esta tecnología en los pueblos y comunidades aledañas.

#### 6.4 REFERENCIAS:

- [1] Costes de la generación en algunas tecnologías, J. M<sup>a</sup>. Marcos Fano, Jefe de División de Energía Hidroeléctrica y Régimen Especial, UNESA
- [2] Energía renovable para el desarrollo sustentable en México, Mensaje del secretario de energía, Lic. Felipe Calderón Hinojosa.  
[http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/fe/e\\_renovables\\_mexico.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/fe/e_renovables_mexico.pdf)
- [3] Evaluación del Potencial de Biogás del Relleno El Valle, Cuenca, Ecuador, Eastern Research Group Inc. Y Carbon Trade Ltd, 25 de Junio, 2007.
- [4] Análisis Técnico-Económico de una planta de generación eléctrica en base a biogás, Universidad de Chile, facultad de ciencias físicas y matemáticas, departamento de ingeniería eléctrica, Oscar Augusto Garay García, Santiago de Chile Mayo-2011.
- [5] Guía práctica para desarrolladores de proyectos MDL, Ministerio del Ambiente de Perú.  
<http://www.minam.gob.pe/>
- [6] Gabriel Vaca Urbina; Evaluación de Proyectos 4<sup>a</sup> Edición, McGraw –Hill, Interamericana Editores S.A. 2001.

---

<sup>50</sup> Gabriel Vaca Urbina; Evaluación de Proyectos 4<sup>a</sup> Edición, McGraw –Hill, Interamericana Editores S.A. 2001



## CAPÍTULO 7

### ASPECTOS AMBIENTALES Y SOCIALES. [1]

La grave crisis ambiental mundial merece medidas objetivas de solución, por ello se necesita promover tecnologías limpias y amigables con el medio ambiente, desarrollar diálogos ambientales participativos, programas de reforestación, implementar planes de desarrollo sustentable, y sobre todo evitar la erosión de la superficie terrestre, contaminación de aguas y control de desechos industriales, protegiendo además la flora y fauna nativa.

La implementación de cualquier tipo de proyecto, en este caso de generación eléctrica a base de biogás, podría generar impactos sobre el medio ambiente. En muchas ocasiones en la evaluación sólo se toma en consideración las inversiones y utilidades, desatendiendo las repercusiones que tendría el proyecto, tanto para el ambiente como para la sociedad en general.

El criterio social busca maximizar los beneficios (no solo utilidades), crear empleo, nivelar la balanza comercial, incrementar el valor agregado, ayudar a un sector de la población con ciertas características, etc.

El propósito de este análisis es la compilación de los principales componentes físicos y biológicos en el área de estudio. Estos componentes incluyen: suelo, hidrología, vegetación y fauna, a fin de identificar los impactos ambientales que puede ocasionar este proyecto sobre los mismos.

## **7.1. ACTIVIDADES PROPIAS DEL PROYECTO.**

Como se ha explicado, este proyecto aprovechara la captura existente del biogás del relleno sanitario de Huascachaca, para generar energía eléctrica mediante la quema del mismo. Durante la construcción y funcionamiento de una central de generación eléctrica, podrían afectarse algunas hectáreas de hábitat natural de la zona, provocando por un lado la migración de especies endémicas a lugares más alejados por generación de ruido y vibración durante la operación del proyecto, o la sobrepoblación de ciertas especies de fácil adaptación a ecosistemas alterados.

La evaluación socio – ambiental del proyecto propuesto arranca con una breve descripción del área de influencia para luego analizar los principales impactos físicos, biológicos y socioeconómicos generados por las distintas actividades del proyecto. Con ello se elaborara una matriz de impactos valorada que servirá de base para plantear un plan de manejo ambiental.

## **7.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**

La zona de implantación del proyecto de generación a base de biogás, ubicado en la provincia del Azuay, a 10,8 km hacia el sureste de la ciudad de Santa Isabel; específicamente en una zona llamada Minas de Huascachaca, sector Ingapirca, posee características de relieve moderado, con paisajes naturales desérticos sobre suelos desnudos con escasa vegetación o vegetación espinosa, de clima cálido seco. Las precipitaciones son muy escasas y la mayor parte del año las temperaturas son altas alcanzando los 25°C, con un promedio anual de 19.5°C.

Por lo general los suelos de la zona de influencia directa del proyecto, son suelos jóvenes formados por la desintegración de las rocas, esto explica que en la actualidad en la zona de influencia del proyecto aún se puede observar que la



mayor parte de la capa superficial aún está en proceso de formación por meteorización.

El escurrimiento es poco, y se produce en la estación lluviosa, que va de enero a abril. La vegetación cuenta con dos tipos de cobertura predominantes: el área erosionada que ocupa el mayor porcentaje (65% aproximadamente) y el matorral bajo con 25% (aproximadamente) cuya densidad es muy rala, lo cual hace de este ecosistema un paisaje estéticamente muy especial y peculiar, único en esta zona; esto significa a su vez que los esfuerzos de conservación se deben orientar al manejo del suelo y sus recursos biológicos asociados especialmente cuando existe de por medio la implementación de infraestructura. En este sentido, se puede afirmar que la mayor parte de fauna nativa característica del lugar es rara y poco abundante debido a que las condiciones adversas extremas sólo dan lugar a fauna adaptada y especializada para la sobrevivencia en ecosistemas cuyas características ambientales extremas condicionan la existencia del tipo de fauna local, como es el caso de la zarigüeya y los murciélagos comunes.

También cerca de las instalaciones atraviesa la carretera Girón – Pasaje que une los cantón es de la Sierra (Azuay) con la Costa (El Oro), convirtiéndose en una arteria de trascendental importancia, puesto que por aquí la circulación de vehículos con pasajeros, estudiantes, comerciantes, turistas nacionales y extranjeros; además de vehículos que precautelan la seguridad de la zona, todo esto hace que la carretera sea gran afluencia durante todo el año.

### **7.3. IMPACTOS AMBIENTALES SOBRE EL MEDIO FÍSICO.**

#### **7.3.1. Impactos ambientales en los suelos.**

Los suelos en la zona de influencia del proyecto pertenecen en su mayor parte al orden de los entisoles que son suelos que no muestran ningún desarrollo definido

de perfiles. Generalmente, suelos con roca madre joven por erosión. Estos suelos son susceptibles a erosión eólica, lo cual no sucede usualmente con el agua ya que las precipitaciones en la zona son escasas; sin embargo en las pocas ocurrencias de precipitación se ha observado que ha dejado grandes grietas debido a la escasa cobertura vegetal presente en la zona.

El principal impacto sobre el suelo es el causado por el movimiento de grandes cantidades de tierra, principalmente en la obtención del biogás, ya que se debe cubrir la materia prima (basura) con este material, este proceso se lo realiza de manera continua. El segundo impacto se daría en la fase de construcción de la casa de máquinas, ya que se requiere conformar al terreno de acuerdo a las características de construcción, esto se lo hará en una parte segura alejada del relleno sanitario.

### **7.3.2. Impactos ambientales en los recursos hídricos.**

La zona de estudio pertenece a la cuenca del río Jubones. El sitio en el cual se implantará el proyecto de generación se sitúa aproximadamente 1,5 Km del mencionado río. Desde las alturas del proyecto se puede apreciar en el fondo, en la parte baja, una planicie verde con un poblado llamado Ochucay y que es atravesado por el río del mismo nombre y que igualmente desemboca en el Jubones, este río puede ser afectado por pequeñas cantidades de aceites que se podrían escurrir por efectos de las lluvias, las cuales se las puede considerar insignificantes.

En todo caso los aceites que se eliminen a partir del proyecto de generación con biogás se manejarán extrayéndolos para llevarlos a sitios seguros para su eliminación y no ser vertidos a ninguna fuente o recurso hídrico lo cual garantiza ausencia de contaminación por aceites y un adecuado manejo de los mismos.



Finalmente, dentro de la zona de influencia directa del proyecto existe una quebrada intermitente con agua solo en época de lluvia. No hay fuentes de agua natural o canales de riego, lo cual significa que no se afectara ningún recurso hídrico importante en el sitio mismo del proyecto.

### 7.3.3. Impactos en la calidad del aire.

El aprovechamiento de biogás y la utilización del metano, principal compuesto del mismo, al transformarlo en CO<sub>2</sub> mediante su quema directa o bien su aplicación como combustible para accionar motogeneradores, es de hecho uno de los beneficios ambientales al atender los factores que inciden en el cambio climático. Las emisiones de CO<sub>2</sub> por parte de la turbina de gas en la parte de generación de energía se pueden considerar permisibles ya que el potencial de calentamiento global del metano es 21 veces mayor que la del CO<sub>2</sub><sup>51</sup>. Esta es la parte fundamental del proyecto, el cual se tomó en consideración para elaborar este trabajo.

**7.3.3.1. Calidad del aire:** Se considera las características físicas y químicas del aire, teniendo en cuenta las emisiones atmosféricas generadas durante el ingreso de vehículos y maquinaria en la etapa de construcción, además de las emisiones gaseosas del generador, malos olores producto de la descomposición de los residuos. Cabe mencionar que durante la etapa de operación se deben realizar actividades de mantenimiento e inspecciones continuas para asegurar el

---

<sup>51</sup>CNE. (2007). *Comisión Nacional de Energía, GUÍA PARA EVALUACIÓN AMBIENTAL PROYECTOS DE BIOMASA*. Santiago, Chile.

adecuado funcionamiento de los equipos, para lo cual es necesario el ingreso de vehículos livianos.

**7.3.3.2. Ruido:** Se entiende como el incremento de perturbaciones acústicas mínimas en el sector, debido a la presencia del personal, vehículos y maquinaria durante las diferentes etapas del proyecto, sin embargo se considera un impacto mínimo debido a que las instalaciones del proyecto se encuentran localizadas al interior del relleno sanitario, en donde no existe contacto directo con las comunidades aledañas, pero se lo toma en cuenta debido a la presencia de trabajadores y operadores del sitio. El mantenimiento de los equipos contribuirá a mantener los niveles de ruido, dentro de los parámetros adecuados.

**7.3.3.3. Olores:** El impacto del proyecto sobre este medio es claramente favorable, ya que durante las etapas de extracción de gas y combustión, disminuye las fugas atmosféricas actuales del mismo por acción del viento, y en consecuencia una disminución de los olores.

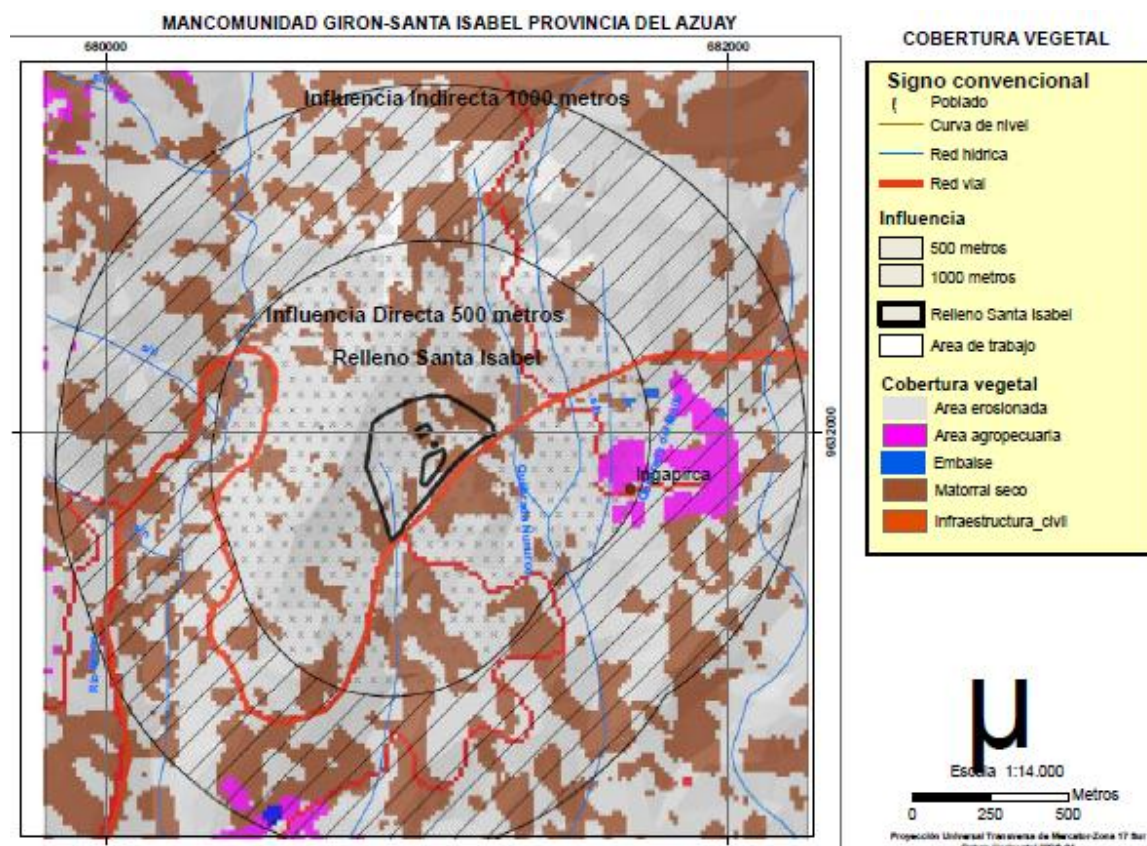
**7.3.3.4. Gases:** Si se considera los gases emitidos a la atmósfera, el impacto del proyecto es sumamente positivo, ya que la captura del metano y su posterior combustión, lo convierte en dióxido de carbono, disminuyendo el efecto sobre el calentamiento global. En la combustión del biogás se desprenden, además de  $\text{CO}_2$ , otros gases como: monóxido de carbono  $\text{CO}$ , óxidos de nitrógeno  $\text{NO}_x$ , óxidos de azufre  $\text{SO}_x$ , cloruro y fluoruro de hidrógeno  $\text{ClH-FH}$ , entre otros. Algunos de estos componentes se originan en la descomposición térmica durante la combustión en pequeñas cantidades con poca influencia.

## **7.4. IMPACTOS SOBRE EL MEDIO BIOLÓGICO. [2]**

### **7.4.1. Impactos ambientales potenciales en la flora.**

La presencia de la flora es un parámetro ambiental considerado como el indicador más importante del estado de conservación de los recursos naturales de un

paisaje determinado. Para este caso, se presenta una caracterización de la vegetación del lugar partiendo del tipo de cobertura actual en la zona como se indica en el siguiente mapa:



**Figura 7.1** Mapa de cobertura vegetal.

Fuente:(EMMAICJ - EP, 2011)

En la figura anterior se aprecia los tipos de cobertura vegetal presentes en el área de influencia del proyecto, por eso se consideró dos niveles: en función del área de influencia directa que implica una distancia de 500 metros alrededor de la obra y en función del área de influencia indirecta un kilómetro alrededor de la obra.

La superficie total del área de influencia directa corresponde a áreas erosionadas, es decir, a ecosistemas naturales con déficit hídrico y condiciones ambientales

adversas que hacen de este, un ecosistema con escasos elementos florísticos e insuficientes condiciones necesarias para la existencia de fenómenos biológicos que posibiliten la existencia de una fauna exuberante.

Dado que la flora del sector es de importancia para la conservación, se describe la información florística más relevante del sector.

**Tabla 7.1** Información florística más relevante del sector

FAMILIA	Nombre Científico	Biotipo
Convolvulaceae	Evolvulus serviceus Sw.	Hierba
Euphorbiaceae	Croton wagneri Mull. Arg.	Arbusto
Convolvulaceae	Ipomoea	Arbusto
Caesalpiniaceae	Hoffmannseggia viscosa (Ruis & Par) Hook & Arm.	Arbusto
Mimosaceae	Zapoteca andina H.M. Herm.	Arbusto
Asteraceae	Onoseris	Arbusto
Asteraceae	Wedelia helianthoides Kunth	Hierba
Nyctaginaceae	Boerhavia coccinea Mill.	Arbusto
Boraginaceae	Cordia macrocephala (Desr.) Kunth	Hierba
Fabaceae	Dalea atcyndrica Hook.	Arbusto
Convolvulaceae	Ipomoea	Arbusto
Malvaceae	Pavonia sepium A.St.-Hil.	Arbusto
Bromeliaceae	Tillandsia demissa	Hierba
Commelinaceae	Commelinia diffusa Burn.f.	Arbusto
Malvaceae	Sida	Arbusto
Malvaceae	Abutilon cotinifolium (L.) Sweet	Arbusto
Fabaceae	Coursetia caribaea (Jacq.) Larin	Arbusto
Cactaceae	Euphorbia lanata	Arbusto
Mimosaceae	Acacia macracantha	Arbusto
Euphorbiaceae	Jatropha nudicaulis	Arbusto
Euphorbiaceae	Croton wagneri Mull. Arg.	Arbusto
Cactaceae	Opuntia pubescens J.C. Wendl. e y Pfeitt	Arbusto
Bromeliaceae	Puya sp.	Hierba

Fuente: (EMMAICJ - EP, 2011)

#### **7.4.2. Impactos potenciales en la calidad del paisaje.**

Se debe utilizar una documentación fotográfica de las medidas de revegetación y reforestación en las áreas intervenidas, para evaluar los resultados de la reforestación (porcentaje de sobrevivencia). Los árboles son un bioindicador de contaminación y pueden contribuir para indicar problemas de contaminación. Además, el bosque en pie contribuirá a minimizar impactos paisajísticos.

#### **7.4.3. Impactos ambientales en la fauna.**

La vegetación nativa del lugar está directamente relacionada con la disponibilidad de hábitats y la ocurrencia de fenómenos biológicos que permiten la supervivencia de la fauna silvestre. En este sentido, se puede afirmar, que la mayor parte de fauna nativa característica del lugar es rara y poco abundante debido a que las condiciones adversas extremas sólo dan lugar a fauna adaptada y especializada para la sobrevivencia en ecosistemas cuyas características ambientales extremas condicionan la existencia del tipo de fauna local. Esto a su vez implica mayores esfuerzos de conservación de estos singulares ecosistemas que a su vez se constituyen en el hábitat de fauna peculiar.

Para la zona de influencia del proyecto se ha registrado preliminarmente las siguientes especies de mamíferos:



**Tabla 7.2** Estad de conservación de mamíferos registrados en la cuenca baja del rio Jubones.

Nombre Científico	Nombre Vulgar	Orden/Familia	Hábitat abrv.	Usos	Amenazas	Categoría de amenaza	Distribución y Hábitat	Abundancia
<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya común, raposa, zorra	DIDELPHIMORPHIA Didelphiidae	B, VA	Alimento y medicina	A menudo es cazada por su carne en épocas y lugares donde escasea la carne. También es cazada por ser depredador de aves de corral. A menudo se la encuentra atropellada en carreteras.	Común y fácil de encontrar	Costa, Amazonía y estribaciones de los Andes. Es una especie mayormente de climas cálidos y tierras bajas. Habita en bosques tropicales y subtropicales, entre 0 y 2 000 m de altitud, aunque usualmente se la encuentra a menos de 1 000 metros. Está presente en bosques primarios, secundarios, zonas alteradas y cerca de áreas habitadas por el ser humano.	Abundante
<i>Cuniculus paca</i>	Guanta de tierras bajas	RODENTIA Cuniculidae	B, Q, VA	- Comestible	- Cacería ilegal	Común y ampliamente distribuido según CITES	- Costa Amazonía y estribaciones de los Andes. Habita bosques húmedos y secos, tropicales y subtropicales, entre 0 y 2 000 m de altitud, aunque usualmente se la encuentra a menos de 700 m. Está presente en bosques de tierra firme e inundados, de vegetación primaria, secundaria, alterada, bordes de bosque, bosques de galería y huertos, pero siempre cerca de fuentes de agua.	Abundante
<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	Conejo silvestre	LAGOMORPHA Leporidae	B, P, VA, C	- Su carne es comestible y usada con frecuencia por la mayor parte de pobladores rurales.		Común y ampliamente distribuido	- Costa, Sierra, Amazonía y estribaciones de los Andes. Es una de las especies de mamíferos con más amplia distribución en el país. Habita en todo el territorio continental, desde 0 hasta 4 800 m de altitud. Está presente en bosques húmedos y secos, tropicales, subtropicales, templados y altoandinos, así como en diferentes tipos de páramo. Se lo encuentra en bosques primarios, secundarios, alterados y cerca de áreas cultivadas y de la presencia humana. En bosques tropicales prefiere bordes de ríos y pantanos a zonas de tierra firme; en páramos busca áreas abiertas y con abundantes pajonales.	Poco abundante
<i>Desmodus rotundus</i>	Murciélago Vampiro común	CHIROPTERA Phyllostomidae	B, C, VA		No tiene amenazas por su amplia distribución	Común y ampliamente distribuido	- Costa, Sierra, Amazonía y estribaciones de los Andes. Habita en bosques húmedos y secos, tropicales, subtropicales, templados, valles interandinos y la parte baja del piso altoandino de todo el país entre 0 y 3 300 m de altitud. Está presente en bosques primarios, secundarios, alterado, zonas abiertas, cultivos, pastizales, áreas ganaderas e incluso cerca de pueblos y ciudades.	Poco abundante

B= Bosques; P = Páramos; VA= Vegetación alterada; C= Cultivos; Q= Quebrada

Fuente:(EMMAICJ - EP, 2011)



Según Best, B. (1991), en un muestreo realizado en este piso altitudinal, describen las siguientes especies de aves para la zona de influencia del proyecto:

**Tabla 7.3** Especies de avifauna identificada para las zonas de estudio

Familia	Nombre Científico	Nombre Común
Cathartidae	Coragyps atratus	Gallinazo negro
Emberizidae	Sicalis flaveola	Sabanero azafranado
Columbidae	Columba buckleyi	Tortolita ecuatoriana
Icteridae	Sturnella bellicosa	Pastorero peruano
Scolopacidae	Actitis macularia	Andarrios goleador
Scolopacidae	Gallinago sp.	Becasina
Strigidae	Glaucidium peruvianum	Mochuelo del Pacífico
Trochilidae	Helimaster longirostris	Helimaster piquilargo

Fuente: Best, B (1991)

Todas las especies antes mencionadas pueden abandonar su hábitat por la generación de ruidos u olores que provoca el proyecto, pero no es de gran importancia porque estos existen en pequeñas cantidades. Cabe mencionar que se debe implementar un plan de manejo para contrarrestar especies invasoras, a través de fumigación y la disposición adecuada de los residuos sólidos.

## 7. 5. IMPACTOS SOBRE EL MEDIO SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL. [1]

En los alrededores del proyecto existen asentamientos poblacionales, el más cercano es la comunidad de Ingapirca que está ubicado a 1.5 kilómetros aproximadamente. La población de este sector se dedica básicamente a la siembra de maíz, caña de azúcar y banano, en más pequeñas proporciones se tienen los productos como fréjol, papa, entre otros. Esta actividad es

combinada con la crianza de animales de las especies vacuna, porcina y ovina. Estas actividades están totalmente desvinculadas al proyecto por lo que éste provocaría un impacto negativo en el sector.

A pesar de que el relleno ya opera desde el año 2008, el proyecto podría generar malestar en los pobladores locales cercanos, debido a la presencia de malos olores, dispersión de la basura por el viento hacia los terrenos, los ruidos por las maquinarias, etc. Pero considerando que el componente principal del biogás, es el metano, que según sus propiedades es un compuesto que requiere un manejo adecuado debido a su inflamabilidad y explosividad, además es un gas asfixiante y puede desplazar al oxígeno en un espacio cerrado, se haría un adecuado control para que los trabajadores que desarrollan sus actividades dentro y en las inmediaciones del relleno sanitario, y para las comunidades cercanas asentadas en el área no se vean afectados.

Respecto a los principales aspectos socioeconómicos del proyecto, se pueden citar los siguientes:

**7.5.1. Empleo:** El empleo se verá favorecido por las actividades de construcción de la planta requiriéndose una mano de obra de un grado de especialización muy amplio, para los habitantes de las comunidades inmediatas al área de construcción y otras dadas por servicios indirectos como la alimentación del personal. En las actividades de operación existirá menor demanda de mano de obra, con diferentes grados de especialización.

**7.5.2. Seguridad Laboral:** El impacto de estas actividades puede generar aspectos negativos sobre la higiene y seguridad laboral, los mismos están asociados a los riesgos presentes en toda actividad de construcción y operación. Estos se pueden prevenir tomando las precauciones necesarias y manteniendo el cumplimiento de las medidas de seguridad y salud ocupacional.

**7.5.3. Nuevas Actividades:** Es probable que la instalación de la planta de generación con biogás potencie el surgimiento de nuevas actividades y emprendimientos en otras áreas, vinculadas especialmente al desarrollo de

tecnología. Por ejemplo, las tareas de operación y mantenimiento de la planta. Otro resultado favorable del proyecto está vinculado a la participación en la construcción y operación de la planta de empresas locales, lo permitiría la réplica de emprendimientos similares en otros sectores.

**7.5.4. Concientización:** Este proyecto constituye un interesante emprendimiento, debido a lo novedoso del mismo y da una oportunidad para potenciar la concientización ambiental de la población en relación al manejo de los residuos sólidos urbanos, así como de la problemática del cambio climático y de los gases de efecto invernadero.

**7.5.5. Sitio de Interés Cultural:** No se han detectado hasta el presente asentamientos arqueológicos ni sitios de interés cultural en la zona del estudio.

## 7.6. EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES. [3]

Una vez analizados los factores físicos, biológicos y socioeconómicos relevantes, en base a las actividades del proyecto, se identificaron potenciales impactos sobre algunos de los múltiples componentes ambientales, que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 7. 4** Componentes ambientales. Impactos relevantes

Componente Ambiental		Impactos relevantes
Componentes Físicos	Aire	Ruido
		Olores
		Gases
	Agua	Superficiales
		Subterráneas
	Suelo	Topografía
		Composición
Componentes Biológicos	Flora y Fauna	Hábitat
	Paisaje	Impacto Visual
Componentes Socioeconómicos		Empleo
		Seguridad Laboral
		Nuevas Actividades
		Concientización
		Sitio de Interés Cultural

**Fuente:** Elaboración propia.

Para evaluar los impactos se utilizó una matriz de Leopold modificada<sup>52</sup> que analiza los aspectos e impactos en las etapas de construcción, operación y abandono, la cual permite mostrar los potenciales impactos ambientales identificados para los componentes físicos, biológicos y socioeconómicos y determinar su significancia. Se asigna parámetros cuantitativos, establecidos en una escala de 1 al 6 (según la importancia), que refleja las características cuantitativas y cualitativas del impacto, distribuidos de la siguiente manera:

**Tabla 7. 5** Valor de la importancia.

Descripción	Valor
Altamente positivo	6
Moderadamente positivo	5
Levemente positivo	4
Levemente negativo	3
Moderadamente negativo	2
Altamente negativo	1

Fuente: Elaboración propia.

A través de los datos indicados anteriormente se construyó la matriz de impactos ambientales para la planta de generación eléctrica a base de biogás:

**Tabla 7. 6.** Matriz de impactos para la generación eléctrica con Biogás.

Matriz de impacto para la generación eléctrica con Biogás																		
	Componentes Físicos								Componentes Biológicos			Componentes Socioeconómicos						Total
	Aire				Agua		Suelo		Flora/ Fauna		Paisaj							
Categorías Ambientales	Ruido	Olores	Polvo	Gases	Superficiales.	Subterráneas.	Topografía	Composición	Flora	Fauna	Impacto Visual	Empleo	Seguridad Laboral	Nuevas Actividades	Concientización	Sitio de Interés Cultural		
Construcción	2	3	2	3	3	-	1	-	3	3	1	5	4	5	4	-	3	
Operación	3	3	3	6	4	-	-	3	3	3	3	5	5	6	5	4	4	
Abandono	4	4	4	4	5	-	-	4	5	4	3	3	3	5	4	4	4	
Total	3.0	3.3	3.0	4.3	4.0	0.0	1.0	3.5	3.7	3.3	2.3	4.3	4.0	5.3	4.3	4.0	4	

Fuente: Elaboración propia.

<sup>52</sup> Metodología para el estudio de impacto ambiental.  
<http://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/esantall/q37.0/Clase%203%20-%20Herramientas%20GA/Metodologia%20EIA.pdf>

En la tabla 7.6. Se muestran los impactos sobre los componentes físicos, biológicos y socioeconómicos del proyecto (reconocidos dentro del área de influencia). Se obtuvo un promedio de todos estos impactos y según la valoración indicada en la Tabla 7.5, se alcanzó un valor de 4, que equivale a la descripción de levemente positivo, cifra que se considera aceptable para este tipo de proyectos.

En lo referente a las etapas del proyecto, se nota claramente que se estima mayor cantidad de valor del impacto para la etapa de construcción, principalmente debido a la continua circulación vehicular; por otro lado, se debe mencionar que la fase operativa del proyecto no generará mayores impactos debido al sitio donde este será implantado, ya que dentro de él no existen asentamientos humanos, flora o áreas sensibles que puedan verse perjudicadas por la colocación de los generadores y/o la obtención y transmisión de energía eléctrica.

De los componentes socio ambientales analizados, se puede concluir que la seguridad industrial es aquel que podría resultar mayormente afectado, durante la fase de construcción como en la etapa de operación del proyecto, debido al nivel de riesgo de manejar el biogás.

En cuanto a los impactos positivos, se obtuvo como resultado más alto la calidad de vida de las comunidades aledañas, entendiéndose como la mejora de las condiciones de vida, por la generación de fuentes de empleo tanto directas como indirectas. Por otro lado, la captación del biogás disminuirá de una manera considerable los malos olores generados, así como también se disminuirá la carga contaminante de metano inyectado directamente a la atmósfera, ya que el biogás transformado en energía genera emisiones consideradas como CO<sub>2</sub> inerte.

## **7.7. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL (PMA)**

Para la elaboración del presente Plan de Manejo Ambiental, se ha tomado en cuenta todos los aspectos relevantes, de las condiciones ambientales actuales del área de influencia directa donde se prevé la implementación del proyecto,

las cuales han sido expuestas en la matriz de impactos ambientales (Tabla 7.6).

El presente Plan de Manejo Ambiental, está referido a las etapas que comprenden la ejecución del proyecto (durante toda la vida útil del mismo). Contiene un conjunto de medidas destinadas a mitigar, restaurar y compensar los impactos ambientales negativos potenciales, así como maximizar los impactos positivos durante las etapas de construcción, operación, mantenimiento y abandono de las obras proyectadas, con la finalidad de ejecutar las actividades de manera sostenible y responsable.

El Plan de Manejo Ambiental de la Planta de Generación eléctrica a base de biogás, contiene los programas que se detallan a continuación:

- **Programa de prevención, mitigación, remediación y compensación ambiental:** Cuyo fin principal es efectuar medidas para prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos negativos que se puedan generar sobre los componentes ambientales físicos y sociales, por la ejecución de las actividades relacionadas al proyecto.
- **Programa de seguridad industrial y salud ocupacional:** Dentro del que se implantan acciones a seguir con el fin de conseguir y mantener un adecuado ambiente de trabajo, además de garantizar el buen estado de salud y la seguridad de los empleados durante la jornada de labores.
- **Programa de Contingencias:** El propósito de éste será procurar una respuesta inmediata a las emergencias (o contingencias) que se puedan presentar, garantizando una mínima afectación durante las actividades de ejecución del proyecto.
- **Programa de manejo de desechos:** Está enfocado a presentar medidas con la finalidad de ejecutar un adecuado manejo de todos los tipos de desecho que se origine durante las diferentes etapas del proyecto, incluyendo la recolección, manipulación, almacenamiento, transporte y disposición final.

- **Programa de Capacitación ambiental:** Cuya finalidad es contribuir a la capacitación del personal a cargo de la construcción, operación, mantenimiento y retiro, del proyecto a fin de que se incorpore la dimensión ambiental en las actividades que están bajo su responsabilidad; y, contribuir al mejoramiento del conocimiento de la comunidad involucrada con el proyecto, para que su participación y relación se ejecute con conocimiento además de responsabilidad.
- **Programa Participación ciudadana y relaciones comunitarias:** Tiene como propósito informar a la población sobre la ejecución del proyecto, y efectuar acciones participativas a fin de tomar en consideración e incorporar criterios y observaciones ciudadanas respecto al mismo, siempre y cuando fueran técnica y económicamente viables.
- **Programa de Monitoreo, control y seguimiento:** Tiene como propósito el delinear los mecanismos necesarios que deberá adoptar la empresa constructora para asegurar el cumplimiento y efectividad de las medidas de protección socio - ambientales propuestas.
- **Programa de Retiro:** Dentro de este programa se consideran las medidas que la empresa, o las compañías encargadas de la construcción, operación y mantenimiento, deban tomar, a fin de garantizar un abandono de la actividad en todas sus fases la cual sea ambientalmente adecuada debido a la finalización de dicha actividad o haber culminado su vida útil; o simplemente por una decisión unilateral del proponente. Todo esto desarrollado en base a sus necesidades técnicas, ambientales y operativas, que impidan la continuidad del proyecto en el tiempo.

Todos estos programas deberán realizarse con el personal técnico adecuado, cumpliéndolos en cada etapa de construcción y operación de la central el proceso sugerido.



## 7.8 REFERENCIAS:

- [1] CNE. Guía para evaluación ambiental proyectos de biomasa. Santiago, Chile. 2007.
- [2] Emmaicj - EP. Estudio de impacto ambiental del proyecto “Sistema de gestión integral de residuos sólidos de la Empresa Pública Municipal mancomunada de aseo integral de la cuenca del Jubones – Emmaicj - EP”, Provincia del Azuay. Loja. 2011.
- [3] Greenleaf Ambiental Company. Estudio de impacto ambiental definitivo proyecto de generación de energía eléctrica con el biogás producido en el relleno sanitario “El Inga” I y II del Distrito Metropolitano de Quito. Quito. 2010.
- [4] PER. Manual de operaciones del relleno sanitario “Parque Ecológico Reciclante”. 2010.



## CAPÍTULO 8.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1 CONCLUSIONES:

El estudio realizado en este documento, indica que un proyecto de generación eléctrica a pequeña escala, en el Relleno Sanitario de Minas de Huascachaca, es factible desde el punto de vista técnico y ambiental, pero limitado desde la óptica financiera, por las siguientes razones:

- El ingreso diario de toneladas de basura es pequeño (20 ton/día), en comparación con otros proyectos, como por ejemplo el relleno sanitario de Pichacay (Cuenca-Azuay), donde diariamente ingresan aproximadamente 400 toneladas de residuos al día.
- Parte de la basura orgánica es reciclada, lo cual es una desventaja para la producción de biogás en el relleno.
- El estudio está proyectado para un periodo de 20 años, con un incremento anual de toneladas de basura de un 20%, con respecto al ingreso generado el año anterior.
- La rentabilidad de generación de energía en el sitio depende de la tarifa regulada por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), para energía renovable proveniente de biomasa y biogás en el Ecuador.
- El análisis presenta un número bajo de reducciones de emisiones en el relleno de Minas de Huascachaca, a lo que se suma el hecho que actualmente el precio de venta de CERs es bajo y, según Barclays<sup>53</sup> no mejoraría hasta el año 2020. Por ello, no se considera relevante el aporte que pudiera tener la aplicación del MDL de Kioto en este proyecto.

---

<sup>53</sup> Capítulo 5, Análisis económico, Historial de los precios de los Bonos de Carbono (CERs)

- El Periodo de Recuperación de Capital Descontado (PRCD) supera los 8 años, considerado como un periodo de poca rentabilidad en comparación con proyectos de energía renovable en Ecuador: como por ejemplo el caso del proyecto de generación eléctrica a biogás del relleno sanitario de Pichacay (Cuenca-Ecuador), en el cual se pretende recuperar la inversión en un periodo de cuatro años<sup>54</sup>. Otro ejemplo es el proyecto eólico Villonaco, que actualmente se encuentra en operaciones y se pretende recuperar en un periodo no mayor a cinco años<sup>55</sup>.

## 8.2 RECOMENDACIONES:

Considerando que el proyecto en estudio tendría sus limitaciones en el ámbito económico-financiero, se ha decidido realizar un análisis de sensibilidad, manteniendo fijo tanto el precio de venta de CERs en \$7/Ton, el ingreso por venta de energía a la red (11 c\$/kWh) y el incremento anual de residuos (20%). En dicho análisis se permutaron variables como: ingreso diario de residuos e inversión inicial, todo ello, con el propósito de observar qué ocurre con el PRCD y presentar a manera de recomendación, las posibles alternativas que pudieran tener los futuros inversionistas.

Se consideró permutar el ingreso diario de toneladas conjuntamente con apoyo financiero, por las siguientes razones:

- Existe espacio suficiente para recibir el ingreso proyectado de residuos, actualmente se utiliza el 20% de un total de 50 hectáreas (se tiene proyectado adquirir 50 hectáreas más para dicho relleno).
- Existen cantones aledaños que no cuentan aún con relleno sanitario y por lo tanto podrían estar interesados en pasar a formar parte de la mancomunidad a cargo del relleno de Huascachaca, como por ejemplo:

---

<sup>54</sup> Ing. César Arévalo, jefe técnico de EMAC

<sup>55</sup> Técnicos del parque eólico Villonaco (Información obtenida por los autores de la tesis, durante la visita técnica realizada por la Aso Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Cuenca al parque eólico Villonaco, en el mes de abril del 2013)

Paute (aproximadamente 26 Ton/mes)<sup>56</sup>, Chordeleg, Sígsig, Camilo Ponce Enríquez, etc. Inclusive el mismo cantón Cuenca podría ser uno de los posibles clientes del relleno Minas de Huascachaca (dado que el tiempo de vida útil del relleno de Pichacay se vería incrementado).

- Se puede buscar el apoyo (financiero no reembolsable, técnico, entre otros) de Organizaciones No Gubernamentales (ONGs), organismos locales, privados o públicos, de tal modo que ayuden a mitigar los gastos (principalmente inversión inicial) que se presenten en la ejecución del proyecto.

Para las consideraciones antes mencionadas se elaboró una matriz compuesta para PRCD (ver anexo B) de ingresos de residuos vs apoyo financiero. Quedando demostrado, que es posible conseguir disminuir el Periodo de Recuperación del Capital Descontado (PRCD), a fin de darle sostenibilidad al proyecto, todo depende de la variable que escoja el inversionista o promotor para dar solución al problema. Por ejemplo en las condiciones actuales (20 ton/día) con un 20% de apoyo financiero, se tendría un PRCD de 7 años; con ese mismo apoyo, si el volumen sube a 75 ton/día, el PRCD sería apenas 5 años.

En definitiva, se trata de un proyecto técnicamente factible, social y ambientalmente beneficioso pero que desde el punto de vista financiero requiere además una adecuada gestión técnico-administrativa y hasta política a fin de que pueda ser implementado con éxito. Las condiciones existentes en el Ecuador y la región, en torno a este tipo de proyectos, permiten avizorar un futuro promisorio.

---

<sup>56</sup> Ing. Diana Rojas, Municipio de Paute, comunicación personal

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] JOSÉ MARÍA DE JUANA; Energías Renovables para el Desarrollo. Editorial paraninfo. 2003
- [2] TCHOBANOLOUS, George; et al. Gestión Integral de Residuos Sólidos. McGraw –Hill, Inc. España. 1994
- [3] SARA LARRAÍN, CAROLINE ESTEVENS, M. PAZ AEDO. Las fuentes renovables de energía y el uso eficiente. Edición octubre del 2002
- [4] GABRIEL MONCAYO ROMERO. Dimensionamiento, Diseño y Construcción de Biodigestores y Plantas a Biogás
- [5] JOSE L. ARVIZU F. Y JORGE M. HUACUZ V. Biogás de relleno sanitarios para producción de electricidad. Boletín IIE, octubre-diciembre del 2003
- [6] NASSIR SAPAG CHAIN, REINALDO SAPAG CHAIN; Preparación y Evaluación de Proyectos. McGraw –Hill, Interamericana de México, S.A. 1989
- [7] GABRIEL VACA URBINA; Evaluación de Proyectos 4ª Edición, McGraw –Hill, Interamericana Editores S.A. 2001
- [8] ANDRES PASCUAL, VEGOÑA RUIZ, PAZ GÓMEZ. Situación y potencial de generación de biogás. Estudio Técnico PER 2011-2020. Madrid 2011
- [9] Empresa Pública Municipal mancomunada de aseo integral de la cuenca del Jubones – Emmaicj – EP. [www.emmaicj.gob.ec](http://www.emmaicj.gob.ec)
- [10] Turbinas de gas. <http://www.turbinasdegas.com>
- [11] Juan Pablo Kindermann Bassano, Análisis comparativo de mecanismos de integración de ERNC en sistemas eléctricos, Tesis de grado. Universidad de Chile.
- [12] Plan maestro de electrificación 2012 – 2021, MEER.



## ANEXOS



ANEXO A

Flujo de caja realizado para el relleno Sanitario de Minas de Huascachaca (\$ USD)

Fecha:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	2014	31-12-15	31-12-16	31-12-17	31-12-18	31-12-19	31-12-20	31-12-21	31-12-22	31-12-23	31-12-24	31-12-25	31-12-26	31-12-27	31-12-28	31-12-29	31-12-30	31-12-31	31-12-32	31-12-33	31-12-34
Ingresos																					
Venta de energía		42.074,6	43.336,9	44.637,0	178.116,0	183.459,5	188.963,3	314.157,3	323.582,1	333.289,5	450.198,7	463.704,6	477.615,8	491.944,3	506.702,6	521.903,7	537.560,8	553.687,6	570.298,2	587.407,2	314.157,3
Venta de Bonos de Carbono		2.129,7	2.193,6	2.259,4	9.015,7	9.286,2	9.564,7	15.901,7	16.378,7	16.870,1	22.787,7	23.471,3	24.175,4	24.900,7	25.647,7	26.417,2	27.209,7	28.026,0	28.866,7	29.732,8	15.901,7
Total de ingresos		44.204,3	45.530,5	46.896,4	187.131,7	192.745,6	198.528,0	330.059,0	339.960,8	350.159,6	472.986,4	487.175,9	501.791,2	516.845,0	532.350,3	548.320,8	564.770,4	581.713,6	599.165,0	617.139,9	330.059,0
Costos																					
Costos de operación y mantenimiento (\$ 0,0173 kw/h, exportado)		-727,9	-749,7	-772,2	-3.081,4	-3.173,8	-3.269,1	-5.434,9	-5.598,0	-5.765,9	-7.788,4	-8.022,1	-8.262,8	-8.510,6	-8.766,0	-9.028,9	-9.299,8	-9.578,8	-9.866,2	-10.162,1	-5.434,9
Sistema de mantenimiento del gas (5% de la inversión inicial)		-3.072,4	-3.164,5	-3.259,5	-3.357,2	-3.458,0	-3.561,7	-3.668,6	-3.778,6	-3.892,0	-4.008,7	-4.129,0	-4.252,9	-4.380,4	-4.511,9	-4.647,2	-4.786,6	-4.930,2	-5.078,1	-5.230,5	-5.387,4
Seguro		-10.000,0	-10.300,0	-10.609,0	-10.927,3	-11.255,1	-11.592,7	-11.940,5	-12.298,7	-12.667,7	-13.047,7	-13.439,2	-13.842,3	-14.257,6	-14.685,3	-15.125,9	-15.579,7	-16.047,1	-16.528,5	-17.024,3	-17.535,1
Trabajos en el sistema de gas y generación		-10.000,0	-10.300,0	-10.609,0	-10.927,3	-11.255,1	-11.592,7	-11.940,5	-12.298,7	-12.667,7	-13.047,7	-13.439,2	-13.842,3	-14.257,6	-14.685,3	-15.125,9	-15.579,7	-16.047,1	-16.528,5	-17.024,3	-17.535,1
Costos misceláneos \$2 por hora operada		-14.932,0	-15.380,0	-15.841,4	-16.316,6	-16.806,1	-17.310,3	-17.829,6	-18.364,5	-18.915,4	-19.482,9	-20.067,4	-20.669,4	-21.289,5	-21.928,1	-22.586,0	-23.263,6	-23.961,5	-24.680,3	-25.420,7	-26.183,4
Total de costos		-38.732,2	-39.894,2	-41.091,0	-44.609,8	-45.948,1	-47.326,5	-50.814,1	-52.338,5	-53.908,7	-57.375,5	-59.096,8	-60.869,7	-62.695,8	-64.576,6	-66.513,9	-68.509,4	-70.564,6	-72.681,6	-74.862,0	-72.075,8
Inversiones																					
Sistema de extracción del biogás	-61.447,1																				
Sistema de expansión del gas				-50.000,0			-50.000,0			-50.000,0											
Generación	-31.200,0			-100.880,0			-100.880,0			-100.880,0											
Transformadores, Interruptores y medidores	-36.000,0																				
Ingeniería civil e instalaciones	-50.000,0																				
Conexión a la red	-130.000,0																				
Contingencia (10% de la inversión)	-30.864,7			-15.088,0			-15.088,0			-15.088,0											
Total de inversiones	-339.511,9			-165.968,0			-165.968,0			-165.968,0											
Capital de trabajo																					
Flujo de capitales				-165.968,0			-165.968,0			-165.968,0											
Flujo de caja	-339.511,9	5.472,1	5.636,2	-160.162,7	142.521,9	146.797,5	-14.766,5	279.244,9	287.622,3	130.282,9	415.610,9	428.079,2	440.921,6	454.149,2	467.773,7	481.806,9	496.261,1	511.148,9	526.483,4	542.277,9	257.983,2
Flujo actualizado		4.974,6	4.658,1	-160.162,7	97.344,4	91.149,7	-14.766,5	143.296,8	134.177,9	55.252,7	160.236,0	150.039,1	140.491,2	131.550,8	123.179,4	115.340,7					
Flujo acumulado		4.974,6	9.632,7	-150.530,0	-53.185,6	37.964,1	23.197,6	166.494,3	300.672,3	355.924,9	516.160,9	666.200,0	806.691,2	938.242,1	1.061.421,5	1.176.762,3					

INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO	-837.415,9
INFLACIÓN ANUAL	3%
VALOR ACTUAL NETO (VAN)	1.314.347,7
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) %	26%
TASA DE DESCUENTO (%)	10%
PERIODO DE RECUPERACIÓN DEL CAPITAL DESCONTADO (PRCD)	8,7 Años

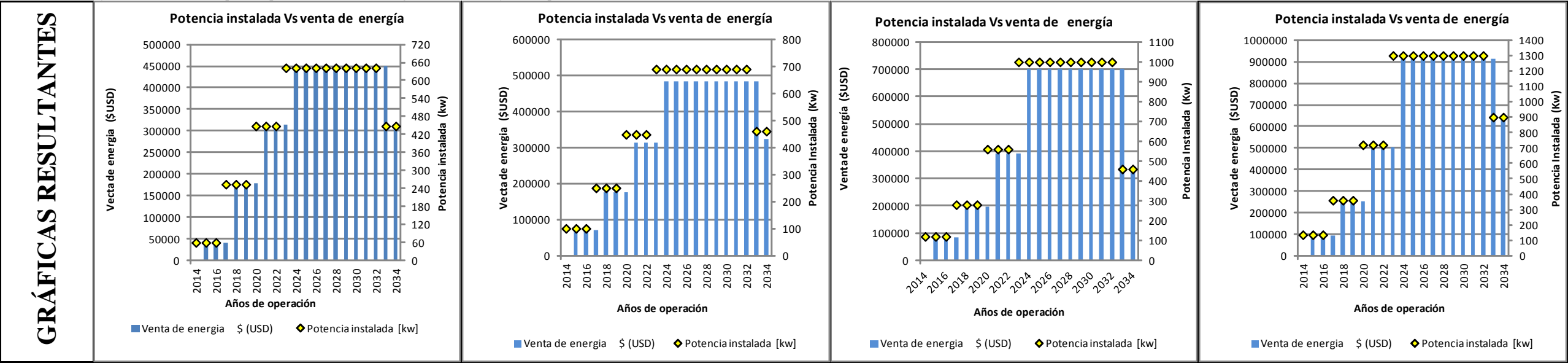


Anexo B

Matriz compuesta para el PRCD (ingresos de residuos vs apoyo financiero)

APOYO FINANCIERO (%)	TON/DÍA ( INCREMENTO ANUAL DE UN 20% DESDE EL2013 HASTA EL 2023*)																			
	20					50					75					100				
	COSTO CAPITAL (\$ USD)	PRCD (AÑOS)	POTENCIA MAXIMA EN 2023 (KW)	TIR (%)	VAN (\$ USD)	COSTO CAPITAL (\$ USD)	PRC (AÑOS)	POTENCIA MAXIMA EN 2023 (MW)	TIR (%)	VAN (\$ USD)	COSTO CAPITAL (\$ USD)	PRC (AÑOS)	POTENCIA MAXIMA EN 2023 (KW)	TIR (%)	VAN (\$ USD)	COSTO CAPITAL (\$ USD)	PRC (AÑOS)	POTENCIA MAXIMA EN 2023 (KW)	TIR (%)	VAN (\$ USD)
0	837415,9	8,7	642	26%	1314347,7	1052933,1	9,6	690	25%	1333686,7	1269943,7	9,1	1000	29%	2053086,1	1505328,2	7,3	1300,0	32%	2899769
10%	753674,3	7,7	642	26%	1314347,7	947639,8	7,8	690	25%	1333686,7	1142949,3	7,3	1000	29%	2053086,1	1354795,4	6,7	1300,0	32%	2899769
15%	711803,5	7,4	642	26%	1314347,7	894993,1	7,4	690	25%	1333686,7	1079452,2	7,0	1000	29%	2053086,1	1279529,0	4,9	1300,0	32%	2899769
20%	669932,7	7,0	642	26%	1314347,7	842346,5	7,0	690	25%	1333686,7	1015955,0	5,0	1000	29%	2053086,1	1204262,6	4,3	1300,0	32%	2899769
25%	628061,9	6,7	642	26%	1314347,7	789699,8	6,6	690	25%	1333686,7	952457,8	4,3	1000	29%	2053086,1	1128996,2	3,8	1300,0	32%	2899769

\* Estudio técnico y económico realizado para un precio de venta de energía de 11c\$/Kwh y 7€/ton por bonos de carbono



## Anexo C.

### Precios preferentes para la venta de energía en las centrales de generación.

Los precios actualmente vigentes, según la Resolución N°010/13 del 21 de mayo del 2013, son los siguientes:

**Tabla C. 1.** Precios Preferentes Energía Renovables en (cUSD/kWh)

Centrales	Territorio Continental	Territorio Insular de Galápagos
EÓLICAS	11.74	12.91
SOLAR TERMOELÉCTRICA	25.77	28.34
CORRIENTES MARINAS	32.43	35.67
BIOMASA Y BIOGÁS	11.08	12.19
GEOTÉRMIA	13.81	15.19

Fuente:, Regulación No. CONELEC – 001/13

Además, para las centrales hidroeléctricas de hasta 50 MW se reconocerán los precios indicados en la Tabla C.1 expresados en centavos de dólar de los Estados Unidos por kWh generado. No se reconocerá pago por disponibilidad a este tipo de centrales que se acojan a la presente Regulación.

**Tabla C. 2** Precios preferentes centrales hidroeléctricas hasta 50MW en (cUSD/kWh)

CENTRALES	PRECIO
CENTRALES HIDROELECTRICAS HASTA 10MW	7,81
CENTRALES HIDROELECTRICAS MAYORES A 10MW HASTA 30MW	6,86
CENTRALES HIDROELECTRICAS MAYORES A 30MW HASTA 50MW	6.51

Fuente: Regulación No. CONELEC – 001/13